

하부 고생대 조선누층군 층서 재고찰

장휘민¹ · 유인창^{2,*}

¹한국해양과학기술원 대양자원연구센터

²경북대학교 지질학과

요 약

태백산분지 북동부에 분포하는 하부 고생대 조선누층군은 상부로 가면서 장산/면산층, 묘봉층, 대기층, 세송층, 화절층, 동점층, 두무골층, 막골층, 직운산층, 두위봉층을 포함하는 10개의 암층서단위로 구성된다. 이러한 암층서단위들은 지역 간 층서 대비에 유용하지만 분지 전반에 걸쳐 일어나는 퇴적작용의 시간적 변화에 대한 정보의 부족으로 분지발달사 규명에는 제한적인 정보만을 제공한다. 분지의 구조적 발달에 따른 층서적 변이에 관한 좀 더 자세한 해석을 하기 위해 기존에 발표된 층서적, 퇴적학적, 고생물학적 자료들을 검토·분석하였다. 결과로, 부정합면으로 경계지어진 6개의 분명한 시퀀스가 분지 내에서 인지된다(I-VI). 시퀀스 I, II, III, IV는 분지 전반에 걸쳐 잘 대비되고 있으며, 캄브리아기 제2세부터 오오도비스기 중부세 초까지에 걸쳐 해수면 변동과 함께 천천히 침강하는 탄산염대지에서 퇴적된 쇄설성-탄산염 혼합형 퇴적체에 해당한다. 피복하는 시퀀스 V는 오오도비스 중부세 말 동안에 탄산염대지에서 퇴적된 쇄설성-탄산염 혼합형 퇴적체이지만, 빠른 공간적 상변화를 보이고 있어 분지 전반에 걸쳐 대비가 매끄럽지 못한 결과를 초래한다. 지역적으로, 시퀀스 V에는 탄산염대지 연변부의 급경사면 퇴적층으로 추정되는 썩기 형태의 각력암(예; 예미각력암)의 전형이 나타난다. 오오도비스 상부세 동안에 구조 역전이 일어났으며, 그 결과로 오오도비스 상부세는 분지 내 결층으로 기록되었다. 시퀀스 VI는 아마도 구조 역전 이후, 지역적으로 고립된 분지에 퇴적된 쇄설성-탄산염 혼합형 퇴적체에 해당될 것으로 생각된다. 본 연구의 잠정적 결과로 새롭게 제안된 층서퇴적 모델은 태백산분지 하부 고생대 퇴적층의 지역 간 일관성 있는 층서 대비와 태백산분지의 구조적 진화에 따른 층서적 변이에 대한 이해에 유용한 정보를 제공한다. 인접 지역의 하부 고생대 퇴적분지들과의 시공간적 대비와 함께 본 층서퇴적 모델은 동아시아 지역 하부 고생대 구조사를 규명하는데 보다 더 나은 통찰을 제공한다.

주요어: 하부 고생대, 조선누층군, 탄산염대지, 쇄설성-탄산염암 복합체, 시퀀스층서학

Hwimin Jang and In-Chang Ryu, 2021, A review of the stratigraphy of the Lower Paleozoic Joseon Supergroup. Journal of the Geological Society of Korea. v. 57, no. 4, p. 495-521

ABSTRACT: Lower Paleozoic strata exposed in the northeastern part of the Taebaeksan Basin, Korea, are composed of ten lithostratigraphic units that include the Jangsan/Myeonsan, Myobong, Daegi, Sesong, Hwajeol, Dongjeom, Dumugol, Makgol, Jigunsan and Duwibong formations in ascending order. These descriptive lithostratigraphic units used for regional correlation, but are limited to delineate basin history due to lack of information on the temporal variations in sedimentation occurring across the basin. Previously published stratigraphic, sedimentologic and paleontologic data from the formations are being reviewed and analyzed to make a more sophisticated understanding on stratigraphic response to tectonic evolution of the basin. As an interim result, six distinct unconformity-bounded sequences are recognized in the basin (I to VI). Sequences I to IV are well correlated across the basin and represent a mixed siliciclastic-carbonate succession that was deposited on the slowly subsiding stable carbonate platform with eustatic sea-level changes from the Series II in Cambrian to the early Middle Ordovician. The overlying sequence V is a mixed siliciclastic-carbonate succession deposited on the carbonate platform during the late Middle Ordovician, but it shows rapid temporal facies variation that results in hindering a basinwide stratigraphic correlation. Locally, the sequence V typifies a wedge-shaped breccia (e.g., Yemi Breccia) which might be due to rapid sedimentation along the rifted platform margin. Tectonic inversion occurred during Late Ordovician so that Late Ordovician recorded as a hiatus in the basin. The overlying unit VI may represent a mixed siliciclastic-carbonate succession that was deposited along the locally isolated remnant basins after tectonic inversion. The stratigraphic and tectonic model, which is newly proposed as a result of this study, provides very

* Corresponding author: +82-53-950-5359, E-mail: inchangryu@knu.ac.kr

useful information to make a coherent regional stratigraphic correlation of the Lower Paleozoic strata and to help a more comprehensive understanding on stratigraphic response to tectonic evolution of the Taebaeksan Basin. Together with the spatial and temporal correlation of the Lower Paleozoic basins in adjacent areas, this model will give much better insight to unravel tectonic history of East Asia during the Lower Paleozoic.

Key words: Lower Paleozoic, Joseon Supergroup, carbonate platform, mixed siliciclastic-carbonate, sequence stratigraphy

(Hwimin Jang, Global Ocean Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Republic of Korea; In-Chang Ryu, Department of Geology, College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea)

1. 서론

한반도의 하부 고생대 조선누층군은 그 직상부를

부정합으로 덮는 석탄기-하부 삼첩기의 평안누층군 퇴적층과 함께 한반도 고생대층을 구성한다(그림 1). 한반도 고생대 퇴적층에는 많은 동·식물 화석이 산

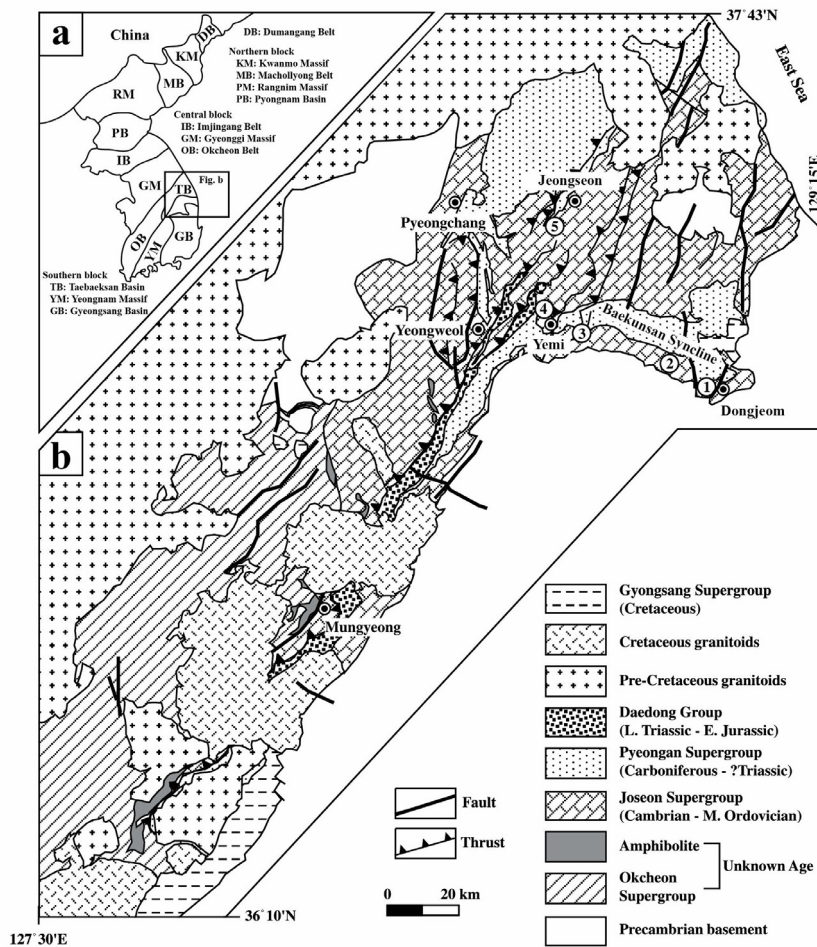


Fig. 1. Geological map showing the distribution of the Lower Paleozoic strata in the Taebaeksan Basin (TB). The Taebaeksan Basin is situated in the northeastern flank of the NE-trending Okcheon Belt (OB). The Cambrian-Ordovician Joseon Supergroup is mainly distributed in the Taebaeksan Basin. The study areas include the northwestern (Yemi and Jeongseon area) and southeastern (Dongjeom area) limbs of the Baekunsan Syncline, Taebaeksan Basin. The numbers in circle indicate the locations of measured section in Figure 13.

출되고 있으며, 석탄층과 함께 금속·비금속 자원들이 부존되어 있어 그동안 층서·고생물학적 연구를 기본으로 다양한 형태의 연구와 자원탐사를 위한 지질조사가 집중적으로 수행되었다. 그러나 그동안 수행되었던 연구와 조사의 결과를 분석해 보면 조사대상 퇴적층이 연구자 또는 조사자들의 직관에 따라 정의되고 있어 연구 결과에 해석적 오류가 포함되어 있음이 인지된다. 이러한 해석적 오류에는 퇴적단위층(예; 암석단위층)의 상하부 경계면에 대한 정의와 함께 표식단면(type section) 및 참고단면(reference sections)에 대한 정확한 정보가 제공되지 못하고 있기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 시도가 그동안 이루어져 왔다(Choi *et al.*, 2004).

본 논문에서는 그동안 수행되었던 태백산분지 하부 고생대 조선누층군의 연구 결과들을 검토하고 현재까지 쟁점이 되고 있는 층서적 문제점들을 논의하고자 한다. 이러한 논의를 통해 태백산분지 하부 고생대 조선누층군의 새로운 층서 해석에 대한 가능성을 제시하고 향후 남·북한간, 더 나아가 동아시아 및 대륙간 층서대비를 위한 새로운 층서들을 마련하고자 한다.

2. 한반도 하부 고생대 퇴적층의 연구사 요약

한반도의 고생대 퇴적층은 1884년 독일인 지질학자 Gottsche에 의해 낭림육괴 북서부 혜산-이원 지역에 소규모로 분포하고 있음이 최초로 알려졌으며, 두 개의 단위층인 하부의 캄브리아계와 상부의 석탄계로 구분되었다(Gottsche, 1884). 이후 일본인 지질학자 Inoue (1907)는 평안남도 와 황해도 및 강원도 일대의 평남분지와 태백산분지에 넓게 분포하는 규암, 셰일, 석회암으로 이루어진 퇴적층을 산출화석을 기준으로 고생대층으로 해석하였으며 하부의 규암, 셰일, 석회암이 교호하는 퇴적층을 조선층으로, 그 직상부의 유공충 화석을 포함하는 석회암층을 방추층석회암이라고 명명하였으며, 두 단위층을 Gottsche의 캄브리아계와 석탄계에 각기 대비하고 두 단위층 사이를 부정합으로 해석하였다. Inoue (1907)의 조선층은 이후 조선계로 개칭되었으며, 하부의 규암과 셰일로 이루어진 양덕통과 상부의 주로 석회암으로 이루어진 대석회암통으로 구분되었다(Yabe, 1919). 그러나 이 조선계에 선캠브리아 최후기의 퇴적암류가 포함된 것을 확인한 Nakamura (1926)는 선캠브

리아 최후기의 퇴적층을 상원계로 명명하고 이를 조선계로부터 분리하였다. 이후 40여 년 동안 조선계라는 명칭은 한반도 하부 고생대층을 대표하는 지층명으로 사용되었다. 1960년대에 들어와 한반도 남부 지역인 태백산분지에서는 조선계 대신에 조선누층군이라는 지층명이, 한반도 북부지역인 평남분지와 낭림육괴에서는 1980년대에 들어와 조선계 대신에 황주계라는 지층명이 사용되고 있다

태백산분지 조선누층군의 연구는 1926년 이후 일본인 지질학자 Kobayashi에 의하여 체계적으로 수행되었다. 특히, 1930년대에서 1960년대 사이에 발표된 태백산분지의 조선누층군에 대한 층서·고생물학적 연구 결과들(Kobayashi, 1966과 그 속의 논문 참조)은 한반도 하부 고생대층의 지질계통 확립에 기초가 되었다. 특히, Kobayashi *et al.* (1942)은 조선누층군의 암상이 지역에 따라 뚜렷한 차이가 있음을 인지하고, 조선누층군을 두위봉형, 영월형, 정선형, 평창형, 문경형으로 세분하였다(그림 1). 1960년대에 들어와 태백산지구지하자원조사단(Geological Investigation Corps of Taebaeksan Region (GICTR, 1962))과 Cheong (1969)에 의하여 조선누층군의 층서와 지질구조에 대한 자세한 조사와 연구가 수행되었으며, 결과로 새로운 지질계통이 제시되었다. 한편, Lee (1980)에 의해 정선지역 조선누층군에서 실루리아기의 코노돈트 화석이 발견되면서 하부 고생대층의 상한이 실루리아기까지 연장되었다.

1990년대에 들어와 조선누층군에 새로운 연구들이 추가되기 시작하였으며 삼엽충 등 대형 무척추동물 화석 연구와 지질구조, 퇴적환경, 지화학 등 다양한 연구가 활발히 이루어졌다. 특히, Choi and Chough (2005)는 삼엽충 연구를 체계적으로 수행하였으며, 암층서에 대한 새로운 해석을 수행하였다. 결과로 Kobayashi가 제안한 두위봉형, 영월형, 정선형, 평창형, 문경형으로 조선누층군을 세분한 층서구분이 국제층서규약에 맞지 않는다는 점을 고려하여 각각 태백층군, 영월층군, 용탄층군, 평창층군, 문경층군으로 명명하였다.

3. 태백산분지 하부 고생대 조선누층군의 층서

3.1 삼척-태백지역 조선누층군

삼척-태백지역의 조선누층군은 Kobayashi *et al.*

(1942)의 '두위봉형 조선계'와 Choi and Chough (2005)의 태백층군에 해당한다. 앞서서도 언급한 것처럼 '조선계'는 오랫동안 하부의 양덕통과 상부의 대석회암통으로 구분되어 사용되었다. 그러나, 남한에서 양덕통이라는 명칭을 사용하는 것이 불합리하다는 생각은 Cheong (1969)에 의하여 논의된 바 있으며, 조선누층군을 시간층서단위의 체계를 따라 캄브리아계를 이연내통과 호명통으로, 오오도비스계를 문곡통과 예미산통으로 구분하였다. 한편, Cheong (1969)은 두위봉형 조선누층군을 캄브리아계의 삼척층군과 오오도비스계의 상동층군으로 구분할 것을 제안하였다. 본 논문에서는 태백산분지 하부 고생대 퇴적층이 중점적으로 연구되어져 왔던 삼척-태백지역에 분포하는 조선누층군, Kobayashi *et al.* (1942)의 두위봉형 조선계, Choi and Chough (2005)의 태백층군에 속하는 각 암석단위층들을 기술하였다(그림 2).

3.1.1 장산층/면산층

장산층은 삼척-태백지역 조선누층군의 최하부층으로 장산규암층으로도 불리며 선캄브리아 울리층군(또는 태백산층) 또는 화강암(예, 홍제사화강암) 위에 부정합으로 놓이거나 단층으로 접촉하고 있다. 장산층의 두께는 50-200 m로, 백운산 향사대의 남쪽 연변부를 따라서는 비교적 연속적으로 노출되나 백운산 향사대의 북쪽 연변부에는 지역에 따라 독립된 암체로 불연속적으로 노출된다. 본 층에서는 화석이 발견되지 않았으나 직상부 묘봉층의 화석군을 고려할 때 캄브리아기 제2세(Series 2)의 제3절(Stage 3)과 제4절(Stage 4)에 퇴적된 층으로 추정된다(그림 2).

Cheong (1969)은 장산층을 세 개의 층원(역질규암층원, 조록층원, 장산층원)으로 구분하였다. 하부의 역질규암층원은 최대 4-5 m의 두께로, 원마도가 좋은 흑색 셰일, 규암 또는 화강암으로 구성된 역들을 포함하며 역의 크기는 보통 5 cm 이하이지만 큰 것은 50 cm에 이르는 것도 있다. 역질규암층원 상위에 놓이는 조록층원은 암회색의 세립질 사암과 실트암이 교호하는 약 40 m 구간으로 사층리 또는 청어뼈형 엽사층리 등이 관찰되는 것으로 보아 조간대 환경에서 퇴적된 것으로 추정된다. 조록층원 상위에 놓이는 장산층원은 유백색 규암으로 구성되어 있으며 최대 두께가 150 m에 이른다.

한편, Cheong (1969)은 태백시 동점역 부근에 있

는 동점단층의 동쪽에 분포하는 지층으로 7 m 두께의 역암으로 이루어진 하부와 그 상위에 약 100 m 두께의 암회색 사암 및 실트암으로 이루어진 상부의 지층을 묶어 면산층이라고 명명하고, 이를 장산층에 대비하였다(Kim and Cheong, 1987). Kim (1991)은 면산층에서 *Skolithos* 등의 생흔화석을 보고하였으며, Woo *et al.* (2006)은 면산층을 조류가 우세한 조간대 환경에서 퇴적된 것으로 해석하였다.

3.1.2 묘봉층

묘봉층(또는 묘봉슬레이트층)은 장산층 위에 정합적으로 놓이며, 층의 두께는 80-250 m이다. 직하부의 장산층이 없는 경우(예, 백운산 향사대 북쪽 연변부)에는 선캄브리아 울리층군(또는 태백산층) 또는 화강암(예, 홍제사화강암)을 묘봉층이 부정합으로 직접 피복한다. 주 구성 암석은 암회색 내지 암록색 셰일 또는 슬레이트이며, 일부 구간에서 박층의 사암층들이 협재하고 있다. Kobayashi (1966)는 묘봉층에서 산출되는 삼엽충과 완족동물에 근거하여 4개의 생층서대 — 하부로부터 *Redlichia* 대, *Elrathia* 대, *Mapania* 대, *Bailiella* 대 — 를 설정하였다(그림 2). *Redlichia* 대는 삼척-태백 지역에서 가장 오래된 생층서대로 북중국과 오스트레일리아의 캄브리아기 제2세(Series 2)의 제4절(Stage 4)에, 그 상위의 생층서대들은 미아오링지안세(Miaolingian)의 울리우안절(Wuliuan)에 해당한다(그림 2).

Kobayashi (1966)는 동점지역의 묘봉층을 흑색 및 암회색 슬레이트가 나타나는 하부 구간, 담록색이나 흑색 또는 갈색의 셰일이 우세한 중부 구간, 주로 암회색 운모질 천매암이 나타나는 상부 구간으로 구분하였다. Han (1969)은 연화광산 지역에 분포하는 묘봉층을 하부의 150-200 m 구간을 차지하는 암회색 내지 회록색의 사질 및 석회질 슬레이트로 이루어지는 M1층, 중부의 4-10 m 두께의 석회암으로 이루어진 M2층, 그리고 상부의 35-40 m 두께의 슬레이트 구간과 최상부 15 m 두께의 슬레이트와 석회암층의 교호 구간으로 이루어진 M3층으로 구분하였다. 그러나 Cheong (1969)은 묘봉층을 Han (1969)의 M1층으로 국한시키고, M2층과 M3층을 대기층의 하부에 포함시켜 석회암-셰일의 호층대로 명명하였다. 묘봉층의 하한은 암회색 슬레이트의 출현으로 장산규암층과 뚜렷하게 정해지는 반면, 상한은 학자

Geologic age (Ma)		Formation	Trilobite biozone	
ORDOVICIAN	443.8 ±1.5 Upper	Hirnantian		
		Katian		
		Sandbian		
	458.4 ±0.9 Middle	Darriwilian	Duwibong	Dolerobasilicus
		Dapingian	Jigunsan	
	470.0 ±1.4 Lower		Makgol	
		Floian	Dumugol	Kayseraspis
		Tremadocian		Protopliomerops
				Asaphellus
		CAMBRIAN	485.4 ±1.9 Furongian	Stage 10
Pseudokoldinioidia				
Jiangshanian	Eosaukia			
	Hwajeol			Quadraticephalus
				Asioptychaspis subglobosa
	Paibian			Sesong
Chuangia				
Prochuangia mansuyi				
Fenghuangella laevis				
Liostracina simesi				
Neodrepanura				
Jiulongshania				
497 Miaolingian	Guzhangian	Daegi	Amphoton	
			Crepicephalina	
	Drumian		Myobong	Bailiella
				Mapania (?)
509 Series 2	Stage 4	Jangsan / Myeonsan	Elrathia	
	Stage 3		Redlichia	
521 Terreneuvian	Stage 2			
	Fortunian			
541.0 ±1.0				

Fig. 2. Lithostratigraphic and biostratigraphic summary of the Joseon Supergroup, Taebaeksan Basin. Modified from Choi and Park (2017).

들에 따라 견해의 차이가 있다. 따라서 묘봉층의 층서적 상한은 연구자들의 선택에 따라 달라질 수 있어 연구 결과에 해석적 오류가 포함될 수 있다.

Yun (1978)은 장산층의 퇴적운회가 해퇴상에서 해침상으로 전환되면서 묘봉층이 퇴적된 것으로 해석하였다. 한편 묘봉층 기저부에서 건열구조가 보존되어 있음이 보고되었는데(Kobayashi, 1966), 이를 근거로 Reedman and Um (1975)은 묘봉층 퇴적 초기에 삼척-태백지역은 한때 국부적으로나마 용기된 적이 있었던 것으로 추론하였다. 이러한 Reedman and Um (1975)의 추론은 묘봉층과 장산규암층의 층서 관계가 부정합일 수도 있다는 것을 시사하였다. Yun (1983)도 장산층과 기반암 사이에서 관찰되는 압쇄암(mylonite)의 생성 시기가 신원생대 최후기인 562 Ma.인 점 등을 들어 묘봉층과 장산층의 경계를 정합이 아닌 부정합으로 해석하였다. 최근에 Lee *et al.* (2016)도 장산층과 묘봉층의 층서 관계가 태백산분지 전 지역에 걸쳐 점이지 않다는 점과 두 층에서 산출되는 쇄설성 저어콘의 연대분포가 큰 차이가 있다는 점을 주목하면서 묘봉층과 장산층의 경계를 정합이 아닌 부정합으로 해석하였다. 향후 장산층과 묘봉층의 층서 관계는 재검토되어야 한다.

3.1.3 대기층

대기층은 묘봉층 위에 정합적으로 놓이는 탄산염 암층으로 층의 두께는 200-300 m이다. 이 층의 전형적인 암상은 층리가 거의 관찰되지 않는 유백색의 괴상 석회암이지만, 지역과 층준에 따라 암상의 차이가 뚜렷하여 암회색이나 담홍색 또는 청회색을 띠기도 하고 하부에서 어란상 석회암과 암회색 셰일이 협재한다. 태백산지구지하자원조사단은 대기층을 풍촌층으로 명명하였다(GICTR, 1962).

Kobayashi (1935, 1966)는 대기층에서 산출되는 삼엽충 화석군을 연구하여 3개의 생층서대 — 하부로부터 *Megagraulos* 대, *Solenoparia* 대, *Olenoides* 대 — 를 인지하고, 이를 북중국의 장하조(Changhian Stage)에 대비하였다. Kang and Choi (2007)도 대기층에서 삼엽충 화석군을 연구하여 3개의 생층서대 — 하부로부터 *Crepicephalina* 대, *Amphoton* 대, *Cyclolorenzella* 대 — 를 인지하고, 이를 북중국의 장하조(Changhian Stage)의 *Crepicephalina* 대, *Amphoton* 대, *Damesella-Yabeia* 대에 대비하였다. 북중국의 장

하조(Changhian Stage)는 캄브리아기 미아오링지안세(Miaolingian)의 드럼이안절(Drumian)에 해당한다(그림 2).

Cheong (1969)은 묘봉층과 대기층의 암상이 세일에서 석회암으로 매우 점이적으로 변한다는 사실을 주목하고 묘봉층 중 세일이 우세한 M1층만을 묘봉층으로 정의하고, M1층 직상부에 나타나는 첫 번째 석회암층인 M2층의 기저면을 대기층의 하한으로 규정하였다. 아울러 Cheong (1969)은 대기층을 두 개의 층원으로 구분하여 묘봉층의 M2층과 M3층을 포함하는 석회암-세일 호층대를 하부층원으로, 돌로마이트가 우세한 상부를 풍촌층원으로 구분하였다. Han (1969)은 동점지역 연화광산 부근의 대기층에서 돌로마이트가 우세한 상부 풍촌층원만을 대상으로 암상과 암색, 퇴적구조 등을 기준으로 9개 (P1, P2, P2s, P3, P4, P5, P6, P7, P8)의 층으로 세분하였다. Han (1969)의 연구를 바탕으로 Yun (1978)은 대기층의 풍촌층원을 천해환경에서 퇴적된 것으로 생각하고 대기층 내에서 일어나는 수직적인 암상의 변화를 묘봉층 세일이 퇴적된 후, 점진적인 해퇴에 이어서 순차적으로 일어난 해침에 의해 퇴적된 현상으로 해석하였다. 특히 최상부의 석회암(P8층)은 해침에 의해 형성된 석호환경 하에서 퇴적되었던 것으로 해석하였다.

한편 Ryu (2003)는 기존의 대기층에 대한 자료들을 종합하여 풍촌층원의 P7층과 P8층 사이에 층서적 불연속면(예, 부정합)이 존재할 수 있음을 시사하였으며, Sim and Lee (2006)도 석계재 부근의 대기층 내 비슷한 층준에서 탄산염 대지의 대기 노출에 따른 속성작용을 지시하는 퇴적구조를 보고하였다. Jang *et al.* (2019)은 동점역 부근 하상에 노출되어있는 대기층 내에서 탄산염각력암을 보고하였으며, 이를 탄산염 대지의 대기 노출에 의한 고기 카르스트 형성과 연관된 용식붕락 탄산염각력암(solution-collapse carbonate breccia)으로 해석하였다. 아울러 Jang *et al.* (2019)은 용식붕락 탄산염각력암층을 기준으로 대기층을 석회암이 우세한 하부 구간, 돌로마이트와 용식붕락 탄산염각력암이 우세한 중부 구간, 석회암이 우세한 상부 구간으로 구분하고 중부 구간과 상부 구간의 경계면이 고기 카르스트 형성과 관련된 부정합면이라고 해석하였다(그림 3). Kim *et al.* (2017)에 의해 정선지역에서 수행된 대기층 시추

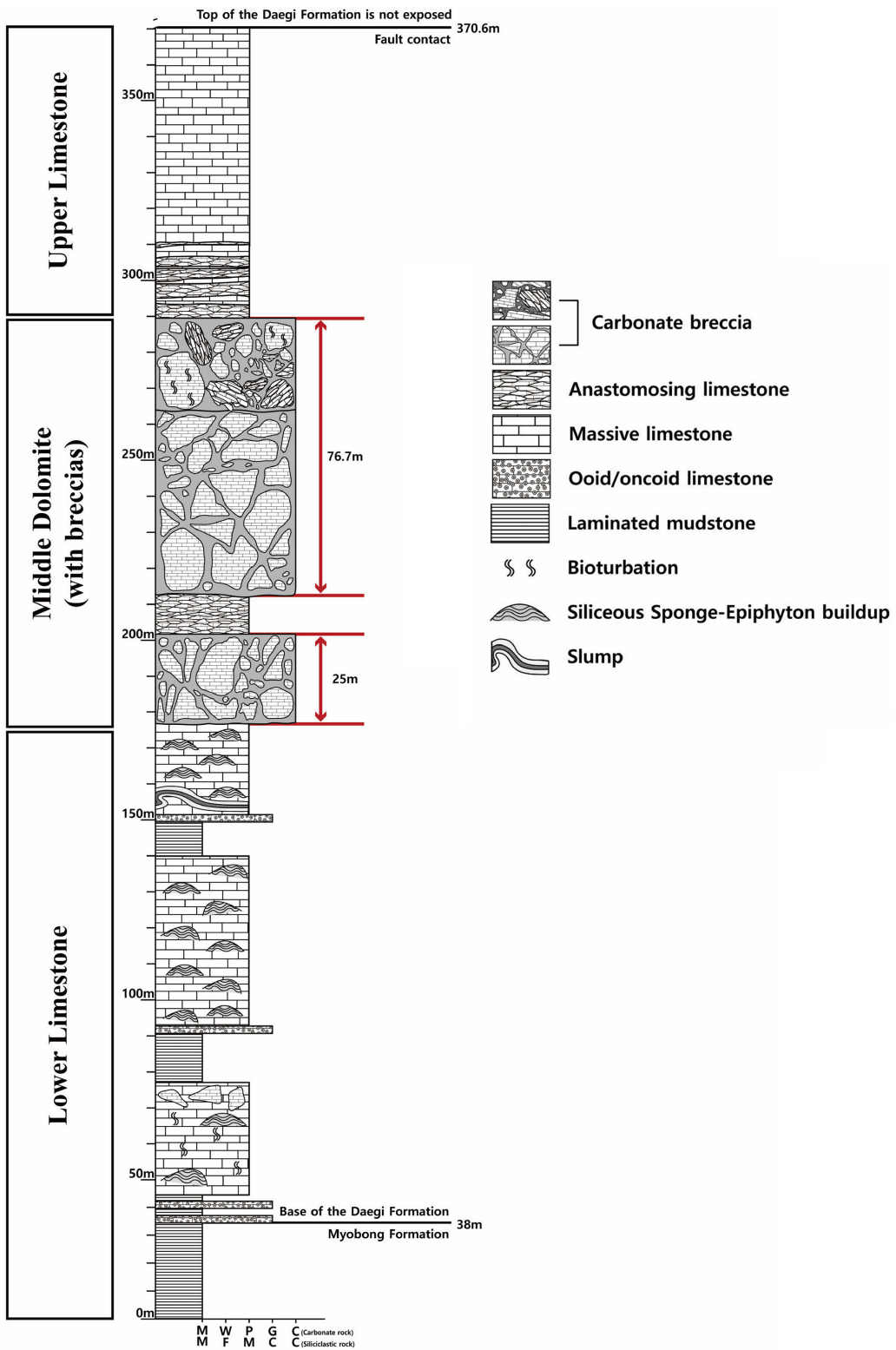


Fig. 3. Stratigraphic columnar section of the Daegi Formation near the Dongjeom area.

코어의 지화학 분석 결과에서도 대기층이 석회암이 우세한 하부 구간, 돌로마이트와 용식붕락 탄산염각력암이 우세한 중부 구간, 석회암이 우세한 상부 구간으로 구분될 수 있음을 보여주고 있다(그림 4).

3.1.4 세송층

Kobayashi (1935)는 영월군 중동면 직동리 직동천을 따라 분포하는 암적색 내지 회색의 슬레이트를 세송층(또는 세송슬레이트층)으로 명명하였다. 세송층은 백운산 향사대의 남쪽 연변부에서는 연속성이 비교적 좋지만, 북쪽 연변부에서는 인지가 어렵다. 이러한 이유로 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)과 Cheong (1969)은 세송층을 독립된 층으로 인정하지 않고 화질층의 최하부 층원으로 취급하였다.

세송층은 대기층 위에 정합적으로 놓이며, 층의 두께는 70 m 정도이다. 주로 뚜렷한 엽리를 보여주는 암회색 세일이 주 암상이며, 석회질 단괴층과 평력암층이 협재하고 상부로 갈수록 세립질 또는 조립질 사암으로 전이된다(그림 5). Park *et al.* (1985)는 이 층의 퇴적환경을 저탁류 및 쇄설류와 같은 중력

류에 의하여 운반 퇴적된 해저 산상지 퇴적층으로 해석하였다. 한편 Ryu and Oh (2013)는 세송층을 세일과 석회질 단괴가 교호하는 하부 구간, 세일과 평력암이 교호하는 중부 구간, 사암이 우세한 상부 구간으로 구분하였으며(그림 5), 하부에서 상부로 갈수록 깊은 외대륙붕에서 얕은 외대륙붕 환경을 거쳐 조류가 우세한 내대륙붕 환경으로 전이되면서 퇴적된 퇴적층으로 해석하였다.

Kobayashi (1935, 1966)는 이 층 내에서 다양한 삼엽충 화석의 산출을 보고하고, 이 화석군에 의하여 *Stephanocare* 대와 *Drepanura* 대를 설정하여 북중국의 구산조(Kushanian Stage)와 대비하였다. Park and Choi (2011)는 직동 지역 세송층에 대한 삼엽충 연구를 통해 5개의 생층시대 — 하부로부터 *Neodrepanura* 대, *Liostracina simeisi* 대, *Fenghuangella laevis* 대, *Prochuangia mansuyi* 대, *Chuangia* 대, *Kaolishania* 대 — 를 설정하였으며, 미아오링지안세(Miaolingian)의 구장지안절(Guzhangian)과 프롱지안세(Frongian)의 지양사니안절(Jiangshanian)에 대비하였다(그림 2). 이러한 Park and Choi (2011)의 생층서 연구 결

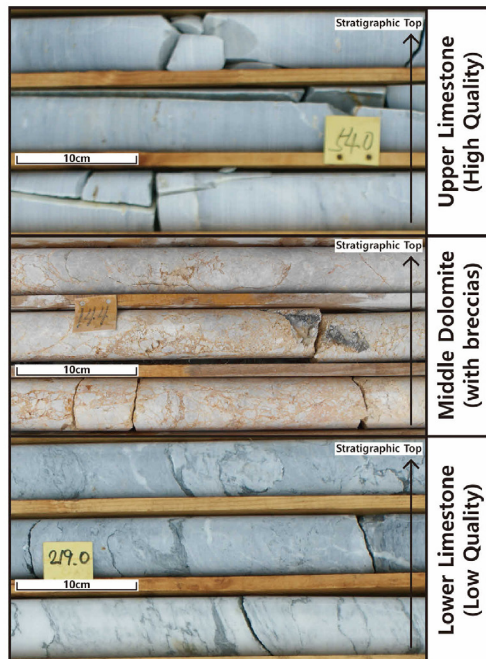
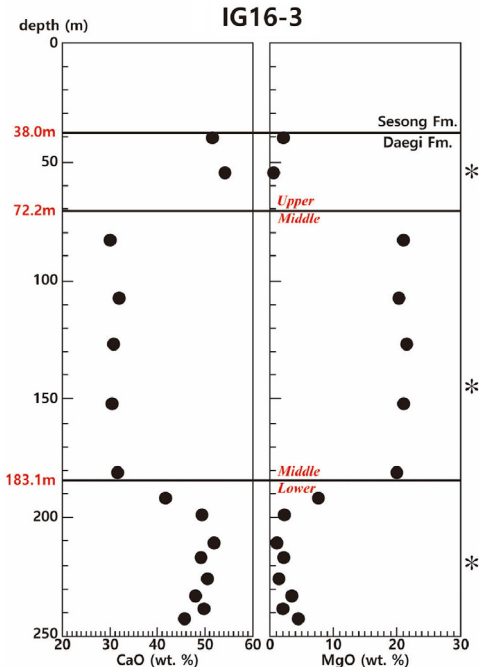


Fig. 4. Stratigraphic subdivision of the Daegi Formation based on vertical variations of CaO and MgO contents (wt.%) (modified from Kim *et al.*, 2017). Asterisks in right represent stratigraphic level where photographs are taken. Photographs of three stratigraphic subdivisions which are divided by vertical variations of CaO and MgO contents (wt.%) from drilling core IG16-3. Note that carbonate breccias show jigsaw textures in the middle dolomite zone.

과를 북아메리카 삼엽충대와 비교하면 세송층 상부 사암이 우세한 구간은 프롱지안세(Frongian) 스텝트

이안절(Steptoean)의 *Aphelapsis-Dunderburgia-Elvinia* 생층서대와 대비된다(그림 6).

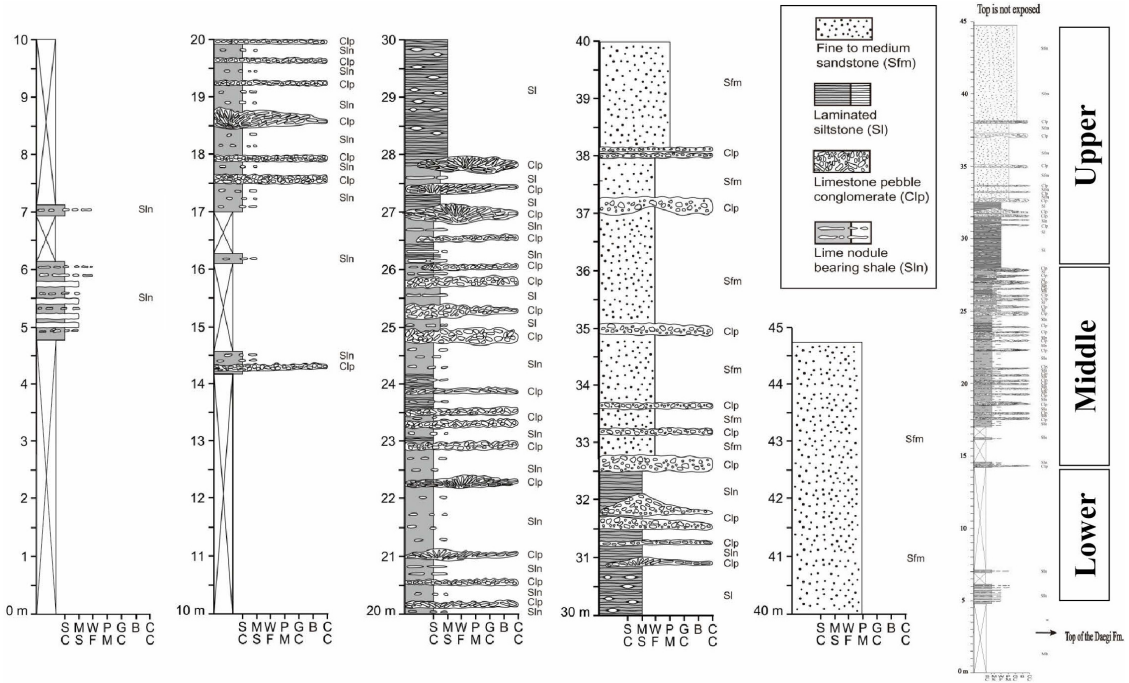


Fig. 5. Detailed columnar section of the Sesong Formation at Jikdong area.

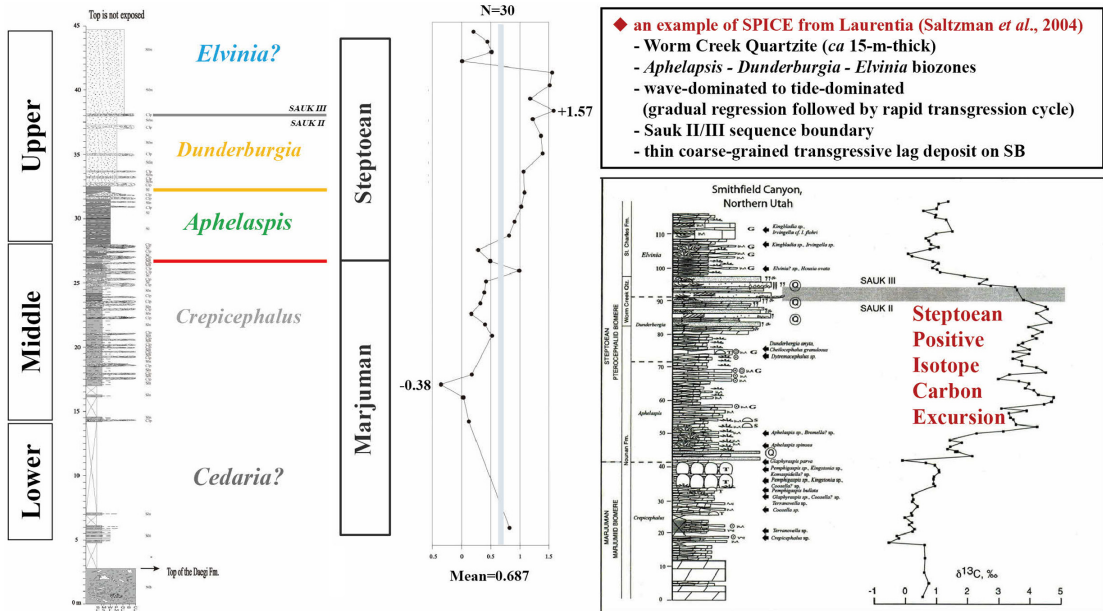


Fig. 6. Carbon isotope stratigraphy from the Sesong Formation. Trilobite biozones are correlated with trilobite collections at Jikdong section (Park and Choi, 2011). See the Sauk II-III sequence boundary in the upper Sesong Formation and compare with the example of SPICE from Laurentia (Saltzman *et al.*, 2004).

한편, Lim *et al.* (2015)은 직동지역의 세송층에 대한 안정탄소동위원소 분석을 통해 탄소동위원소 값이 음(-)에서 양(+)으로 전이되는 탄소동위원소 이상대가 있음을 규명하고 이를 캄브리아기 프롱지안세(Frongian) 스텝토이안 탄소동위원소 이상대(SPICE; Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion)에 대비하였다(그림 6). Park and Choi (2011)의 생층서 연구와 Lim *et al.* (2015)의 연구를 종합하여 Ryu and Oh (2013)는 세송층 상부 구간에서 얇은 외대륙붕 환경에서 조류가 우세한 내대륙붕 환경으로 급격하게 전이되는 층준에 층서적 불연속면(예, 부정합면)이 존재한다고 해석하였다(그림 6).

3.1.5 화절층

Kobayashi (1935)는 영월군 중동면 직동리 화절치 부근에서 세송층 상위에 정합적으로 놓이는 약 180 m 두께의 석회암과 세일의 호층대를 화절층이라고 명명하였다. Cheong (1969)은 화절층에 대한 정밀조사를 통해 암상을 기준으로 화절층을 4개의 층원으로 구분하고 하부로부터 세송이회암층원, 하부화절층원, 화절규암층원, 상부화절층원으로 명명하였다. 그러나, 화절층 최하부인 세송이회암층원은 세송층과 동일한 지층이기 때문에 이를 화절층에서 제외시키면 화절층은 3개의 층원으로 구분된다.

하부화절층원은 1-3 m 두께의 세일층 상부에 약 10-50 cm 두께의 단괴상의 석회암층과 평력암상의 석회암층이 피복하는 층상구조가 반복하여 나타나는 특징을 보인다. 상부화절층원도 하부화절층원과 같이 세일층 상부에 단괴상의 석회암층과 평력암상의 석회암층이 피복하는 층상구조가 반복하여 나타나는 특징을 보인다. 최근, Kim *et al.* (2016)은 화절층에 대한 광물학적 특성 연구를 통해 하부화절층원과 상부화절층원이 지화학적으로 뚜렷하게 구분될 수 있음을 보고하였다. 하부화절층원과 상부화절층원 사이의 화절규암층은 약 20 m 두께의 석회질 사암으로 하부는 세립질 사암층이 우세하나 상부로 가면서 급격하게 조립질 사암층으로 전이되면서 상부화절층원에 의해 피복된다. 화절규암층원은 상부화절층원 직상부에 놓이는 동점층으로 오인될 수 있어 연구에 주의가 필요하다.

Kobayashi (1935, 1966)는 화절층에서 삼엽충, 완족동물, 복족류 등 다양한 화석을 보고하고, 이들 화

석군의 층서적 신출에 근거하여 하부로부터 *Prochuangia* 대, *Chuangia* 대, *Kaolishania* 대, *Dictyites* 대, *Eoorthis* 대로 구분하여 이들을 북중국의 캄브리아기 장산조(Changshanian Stage)와 풍산조(Fengshanian Stage)에 대비하였다. Lee and Lee (1988)는 화절층에서 산출된 코노돈트를 기준으로 4개의 생층서대 — 하부로부터 *Proconodontus* 대, *Eoconodontus (E.) notchpeakensis* 대, *Cambroistodus minutus* 대 및 *Cordylodus proavus* 대 — 를 설정하였고, 이들을 북중국과 북아메리카 서부의 코노돈트 화석군과 대비하여 캄브리아기 프롱지안세(Frongian)에 대비하였다. 최근에 들어와 Choi and Park (2017)은 화절층에 대한 삼엽충 연구를 통해 3개의 생층서대 — 하부로부터 *Asioptychaspis subglobosa* 대, *Quadraticephalus* 대, *Eosaukos* 대 — 를 설정하였고 프롱지안세(Furogian)의 지양사니안절(Jiangshanian) 최상부와 제10절(Stage 10)의 하부 구간에 대비하였다(그림 2). 특히, Kobayashi (1935, 1966)의 생층서대와 Choi and Park (2017)의 생층서대를 비교해보면 Kobayashi의 연구 결과에 화절층 층서에 대한 해석적 오류가 포함되어 있었음이 인지된다.

3.1.6 동점층

화절층 위에 정합적으로 놓이는 동점층(또는 동점규암층)은 풍화에 강한 규암으로 이루어져 절벽이나 능선의 돌출부를 이루는 것이 보편적이다. 한편, Cheong (1969)은 동점층과 화절층의 경계가 부정합일 가능성을 언급하면서 동점층을 두무골층의 한 층원으로 취급하였다. 백운산 향사대 남쪽 연변부에서 동점층은 횡적으로 잘 연장되지만, 북쪽 연변부에서는 층이 얇아져 인지하기 어려운 곳도 있다. 층의 두께는 최대 50 m로 알려져 있다.

동점층은 주로 암회색 내지 담갈색의 사암으로 이루어지는데 곳에 따라 석회질 세일과 석회암이 협재한다. 규암을 이루는 광물은 주로 석영(70-95%)이며, 부수적으로 장석, 불투명광물 및 방해석이 포함된다. 석영 입자는 세립질 내지 조립질이고, 원마도와 분급도는 좋은 편이다. 동점층 하부 구간은 세립질 사암층과 세일층으로, 중부 구간은 조립질 사암층으로, 상부 구간은 세립질 사암층과 얇은 석회암층으로 구성된다. 동점층은 전반적으로 퇴적구조가 뚜렷하지는 않지만, 곳에 따라 사층리가 관찰되기도

한다.

동점층에서 산출된 화석은 매우 드물지만, Kobayashi (1960)가 예미 부근의 동점층에서 삼엽충 화석 *Pseudokainella iwajai*를 보고하였다. 이후 Kobayashi (1966)는 화절층 최상부의 *Eoorthis* 대와 동점층 하부 *Pseudokainella*가 나타나는 층준의 경계를 캄브리아기와 오르도비스기의 경계로 보았다. Choi *et al.* (2003)도 삼엽충 연구를 통해 동점층 최하부 *kainellid*가 우세하게 산출되는 층준 내에 캄브리아기와 오르도비스기의 경계가 위치할 수 있음을 시사하였다. 그러나 Lee and Choi (2007)는 동점층에 대한 집중적인 삼엽충 연구를 통해 동점층 하부 구간에서 3개의 생층시대 — 하부로부터 *Eosaukia* 대, *Pseudokoldiniodia* 대, *Richardsonella* 대 — 를 설정하였고 프롱지안세(Furogian)의 제10절(Stage 10)과 하부 오오도비스세(Lower Ordovician) 트레마도시안절(Tremadocian)의 하부 구간에 대비하면서 동점층 하부 구간 *Pseudokoldiniodia* 대와 *Richardsonella* 대의 경계를 캄브리아기와 오르도비스기의 경계로 제시하였다(그림 2).

3.1.7 두무골층

두무골층은 동점층 위에 정합적으로 놓이며, 층의 두께는 150-270 m로 알려져 있다. 두무골층은 회색 또는 녹회색의 석회암 내지 돌로마이트 그리고 이회암 내지 세일층의 교호로 특징지어진다. 두무골층의 하부는 주로 세립질 사암과 실트암으로 이루어지지만 상위로 가면서 리본암과 평력석회암이 빈번하게 협재한다. 중부는 이회암과 세일 그리고 이들과 교호하는 리본암과 평력석회암으로 이루어지며, 상부는 두꺼운 석회질 세일과 얇은 두께의 리본암과 이회암-세일이 교호한다.

Son and Cheong (1965)는 두무골층이 세일과 석회암의 교호로 이루어진 점을 고려하여 동점층보다는 깊은 해저에서 퇴적되었을 것으로 해석하였다. 한편 Lee and Kim (1992)은 두무골층이 일정하게 완만해지는 경사를 갖는 탄산염 대지의 조하대(subtidal)에서 빈번한 폭풍의 영향 아래에서 퇴적된 것으로 해석하였다.

Kobayashi (1934)는 이 층에서 삼엽충, 완족동물 등 다양한 무척추동물 화석을 보고하면서 하부의 *Asaphellus* 대와 *Protopliomerops* 대를 제안하고 트레마도시안절(Tremadocian)에 대비하였다. Kim

et al. (1991)도 두무골층에서 3개의 화석대 - *Asaphellus* 대, *Protopliomerops* 대, *Kayseraspis* 대를 인지하고 하부의 *Asaphellus* 대와 *Protopliomerops* 대는 트레마도시안절(Tremadocian)에, 상부의 *Kayseraspis* 대는 플로이안절(Floian) 초에 대비하였다(그림 2). Seo *et al.* (1994)는 두무골층내에서 4개의 코노돈트 생층시대를 — 하부로부터 *Chosonodina herfurthi-Rossodus manitouensis* 대, *Glyptoconus quadriplicatus* 대, *Paracordylodus gracilis* 대 및 *Triangulodus dumugolensis* 대 — 제안하고 하부의 2대는 트레마도시안절(Tremadocian)에, 상부의 2대는 플로이안절(Floian)에 대비하였다.

3.1.8 막골층

두무골층 위에 정합적으로 놓이는 막골층은 석회질 이암, 돌로마이트, 중간석회질역암, 생쇄설 입자암, 어란상 입자암 등의 다양한 탄산염암으로 이루어지며 얇은 사암과 세일이 협재한다. 층의 두께는 250-400 m이며, 암상을 기준으로 기저층원, 하부층원, 중부층원, 상부층원으로 구분된다(Choi and Chough, 2005). 기저층원의 두께는 45 m이며 주로 흑회색 돌로마이트로 구성되어 있다. 상부로 갈수록 수 cm 두께의 평력암층들이 수 매 협재한다. 하부층원의 두께는 약 80 m 두께이며 다양한 퇴적구조들을 보이는 석회암층으로 구성된다. 중부층원의 두께는 약 85 m로 석회암층과 돌로마이트로 구성되어 있으며, 층간에 탄산염각력암들이 특징적으로 협재한다. 상부층원은 약 60 m의 두께를 유지하면서 흑회색 석회암들로 구성된다.

막골층 내의 석회암 사이에는 생물교란구조, 스트로마톨라이트, 건열, birds-eye구조, 증발 잔류암(암염과 석고)의 캐스트 등 다양한 퇴적구조들이 관찰된다. 하부는 돌로마이트질 석회암이 우세하고 생물교란에 의한 반점상 구조가 뚜렷하며, 생물(극피동물, 복족류, 삼엽충 등)의 골격이 관찰된다. 상부로 가면서 돌로마이트가 우세해지고 생물 골격의 함량이 적어지며 그 대신 스트로마톨라이트, 건열, 증발 잔류암의 흔적이 자주 관찰된다(Paik, 1985, 1987). Paik (1987)은 이들 암상의 특징을 바탕으로 막골층이 조상대(supratidal)에서 조하대(subtidal)를 포함하는 건조한 조건대 환경에서 형성되었다고 해석하였다. Ryu *et al.* (1997)은 막골층 중부층원에만 한정

되어져 나타나는 탄산염각력암을 주목하면서 이를 대기노출에 의한 고기 카르스트 형성에 따른 용식붕락 탄산염각력암으로 해석하고(그림 7) 막골층 중부층원과 상부층원의 경계면을 고기 카르스트 형성 후 해침과 관련된 해침부정합면(drowning unconformity)으로 해석하였다(그림 8).

Kobayashi (1934, 1966)는 막골층 하부에서 *Clarkella* 대를 인지하고 플로이안절(Floian) 상부에 대비하였으며, 그 상위에 *Manchuroceras* 대, *Polydesmia* 대 및 *Sigmorthoceras* 대를 제안하면서 이들을 다핑지안절(Dapingian)에 대비하였다(그림 2). Lee and Lee (1990)에 의한 코노돈트 연구도 막골층 중부층원에서 *Aurilobodus leptosomatus* 대를 인지하고 이를 북

아메리카의 알레니지안절(Arenigian) 상부에 대비하였다(그림 8).

3.1.9 직운산층

직운산층은 막골층 위에 정합적으로 놓이며, 층의 두께는 30-60 m로 알려져 있다. 암상은 주로 흑색 셰일로 이루어지며, 하부에서는 석회질이 우세한 반면 상부로 갈수록 규질이 우세해진다. 이 층에서는 많은 대형 화석이 산출되는 것으로 유명하며, 특히 화석은 직운산층의 중부 수 m 구간에서 집중적으로 산출된다. Woo and Chough (2007)는 직운산층을 석회질 퇴적물과 규질 퇴적물들이 혼합된 해양 대지 환경의 심부 조하대에서 퇴적된 후, 점차 상대

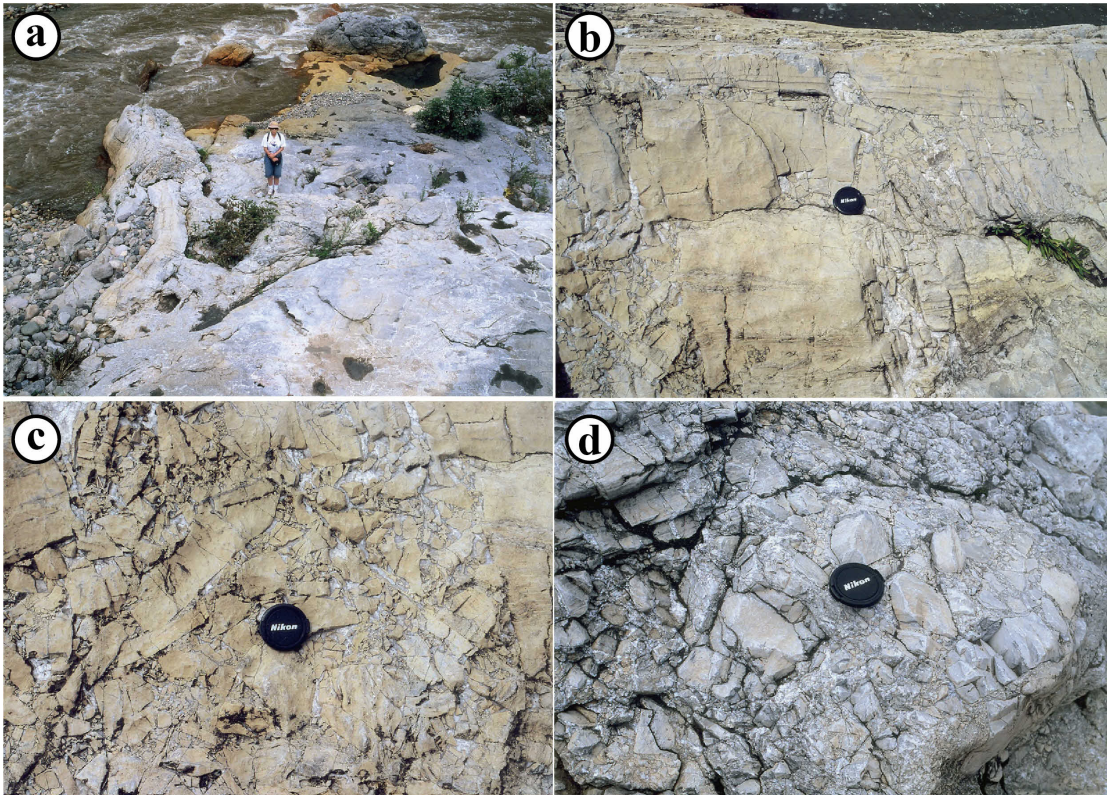


Fig. 7. Examples of the paleokarst-related solution-collapse breccias in the Makgol Formation. (a) Well-developed solution-collapse breccias. These breccias rest sharply on unbrecciated host rock and occur as stratabound lenticular bodies that typically consist of a lower chaotic breccia, a middle mosaic breccia, and an upper fracture breccia. Note the flat upper boundary associated with collapse structure. Geologist for scale. (b) Fracture breccias are formed by a dense fracture network that outlines a system of tightly packed, incipient dolomite clasts. Lens cap for scale. (c) Mosaic breccias resemble fracture breccias in that they consist entirely of dolomite clasts (monomict), but differ in the greater degree of rotation and relative movement of dolomite clasts. Void-fillings include coarsely crystalline sparry calcite and micritic mud matrix. Lens cap for scale. (d) Chaotic breccias displaying random orientation of dolomite clasts with the abundant micritic mud matrix and coarsely crystalline sparry calcite. Lens cap for scale.

적 해수면은 상승하거나 정체된 상태에서 전진퇴적하며 수심이 낮아져 폭풍의 영향을 받는 천부 조하대로 전이되면서 퇴적된 것으로 해석하였다. Ryu *et al.* (2009)은 직운산층에 대한 층서퇴적학 정밀기재와 함께 수행한 지화학적 분석을 통해 하부층원, 중부층원, 상부층원으로 구분하였다(그림 9). 하부층원은 흑색 셰일로 구성되어 있으며 황철석 결정들을 포함한 석회질 단괴들이 얇은 층으로 나타난다. 중부는 흑회색 셰일층 또는 엽리가 잘 보이는 청회색 이암층들이 교호한다. 상부는 석회질 단괴들이 포함되어 있는 청회색 이암층으로 구성된다(그림 9). 직운산층은 전반적으로 심부 조하대(deep subtidal)에서 퇴적되었으며 하부층원은 무산소환경에서, 중부층원은 환원환경 하에서, 상부층원은 산화-준산화환경 하에서 퇴적된 것으로 해석하였다(Ryu *et al.*, 2009). 특히, 직운산층 하부층원 내에 유기탄소가 농집되어 있는 층군이 존재함을 인지하고 이를 해수면이 가장 높았을 때 분지 전반에 걸쳐 퇴적되는 응축층(condensed section)으로 해석하였다(그림 10).

Kobayashi (1934)는 직운산층에서 필석 2종, 완족동물 3종, 이매패류 13종, 복족류 6종, 두족류 46종, 삼엽충 17종, 그리고 1종의 plumulitids를 보고

하였다. 그는 직운산 화석군을 중부 오오도비스세(Middle Ordovician) 달리위리안절(Darriwilian)에 대비하였다(그림 2, 8). Lee (1977)와 Lee and Lee (1990)는 직운산층내에 *Eoplacognathus suecicus*-*E. jigunsanensis* 대를 인지하고, 이 화석대를 달리위리안절(Darriwilian)에 대비하였다(그림 2, 8).

3.1.10 두위봉층

태백-삼척지역의 조선누층군 최상부를 차지하는 두위봉층은 하위의 직운산층과 정합적 관계를 이루며, 그 위에는 상부 고생대층인 평안누층군이 부정합으로 놓인다. 층의 두께는 약 50-75 m로 알려져 있다. 주로 담회색의 괴상 생쇄설물 석회암과 석회질 셰일로 이루어지며, 간혹 얇은 평령석회암이 협재되기도 한다. Lee (1988)에 의하면 두위봉층 하부는 상향 세립화하는 퇴적단위와 폭풍의 생쇄설물 탄산염암으로 이루어지며, 상부에서는 수평층리, hummocky cross-lamination과 climbing wave-ripple lamination 등이 관찰되는 점에 근거하여 두위봉층이 폭풍의 영향을 받은 해양대지의 조간대 위에서 퇴적된 것으로 해석하였다.

Kobayashi (1934)는 이 층에서 완족동물 3종, 이

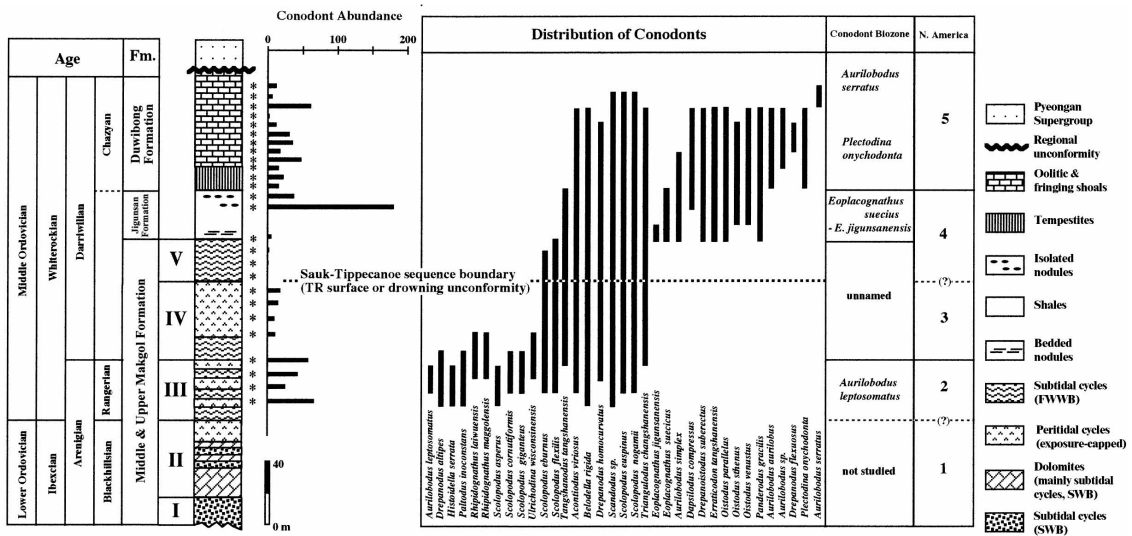


Fig. 8. Composite stratigraphic column and conodont biostratigraphy of the upper Makgol, the Jigunsan, and the Duwibong formations. Conodont data are from Lee and Lee (1990). Conodont biostratigraphy indicates that the Lower to Middle Ordovician boundary may exist in the upper Makgol Formation between units II and III. Also, the Sauk-Tippeneo sequence boundary appears to coincide with the boundary between the unit IV and the unit V. Abbreviations: FWWB, Fair-weather Wave Base; SWB, Storm Wave Base.

매패류 9종, 복족류 17종, 두족류 11종, 삼엽충 2종, 그리고 해면, 태선동물, 해백합 줄기 등의 화석을 보고하고, 이 화석군을 중부 오오도비스세(Middle Ordovician) 달리위리안절(Darriwilian) 상부에 대비하였다(그림 2, 8). 한편, 코노돈트 연구에 의하여 두위봉층내에서 *Plectodina onychodonta*와 *Aurilobodus serratus* 대를 설정하고(Lee and Lee 1990), 이들을 달리위리안절(Darriwilian) 상부, 그리고 북아메리카의 코노돈트 화석대 5에 대비하였다(그림 2, 8).

3.2 다른 지역의 층들

앞에서 기술한 삼척-태백지역의 조선누층군을 구성하는 각 층들은 암상의 횡적 상변화가 뚜렷하다. 따라서 이 지역 지층의 암상이 모든 지역에서도 똑같이 나타나는 것은 아니며 삼척-태백지역이 아닌 지역에서는 다른 암상을 보인다. 이러한 이유 때문

에 표식지역과 다른 암상을 보이는 경우에는 표식지역의 층명과 다른 층명을 사용하기도 하였다. 예를 들어 세송층과 화절층은 정선 지역에서는 사질암이 우세하게 나타나기 때문에 Hisakoshi (1943)는 죽림층과 자운층이라는 다른 층명을 사용하였다. 또한 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)은 백운산향사대의 북서부 정선군 예미지역에서 예미각력암층, 고성세일층, 고성석회암층을, 정선지역에서는 막골층 위에 정선석회암층과 행매층, 회동리층을 새로이 설정하였다(그림 11). 아울러 예미지역의 예미각력암층 직하부와 정선지역의 막골층과 정선석회암층 사이에 약 10 m 두께의 규암층이 협재되어 있음을 보고하였다(그림 11).

예미각력암층은 주로 5~50 cm 크기의 석회암력으로 구성된 각력암층으로 드물게 규암역도 함유한다(그림 12). 본 층의 두께는 70-160 m로, 태백산지

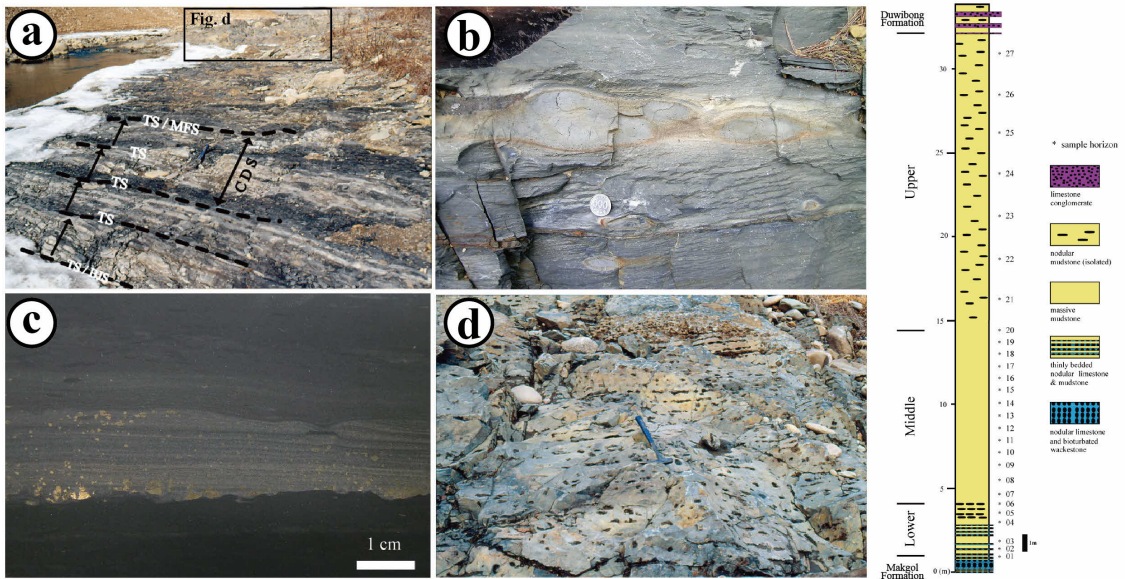


Fig. 9. (a) An excellent exposure of the Jigunsan Formation near Dongjeom, showing a successive stack of four fifth-order cycles and horizons that have sequence stratigraphic significance in the lower Jigunsan Formation. Abbreviations: BJS (base of the Jigunsan Shale), TS (transgressive surface), MFS (maximum flooding surface), and CDS (condensed section). Hammer for scale. (B) Close view of the upper part of lower Jigunsan Formation. Note the pyrite-mantled (weathered in brown) nodules in dark gray calcareous shale. Coin for scale is 2.7 cm in diameter. (C) Thin silty turbidite that is sporadically interbedded in the middle and upper Jigunsan Shale. Parallel laminations and graded bedding are well developed in thin silty turbidite that is bounded by a distinct erosive lower boundary and a gradual upper boundary. Spheroidal shaped pyrites (0.5~2mm) are present in silty turbidite, showing a size-grading. Also note the contrast of darkness between the underlying and overlying massive mudstone intervals. (D) Close view of the upper Jigunsan Shale that is entirely composed of nodular siliceous shale. Isolated nodules are mostly weathered out and appear to be as ellipsoidal shaped holes due to differential weathering between the calcareous nodules and the siliceous host shale. Hammer for scale.

구지하자원조사단(GICTR, 1962)은 예미각력암층을 막골층을 부정합으로 덮는 시대미상의 기저역암으로 해석하였다(그림 11). 최근, No *et al.* (2020)은 예미각력암층을 열수작용에 의한 열수각력암으로도 해석하였다. 향후, 예미각력암층의 성인에 대한 연구와 함께 인접 퇴적층과의 층서적 관계에 대한 정밀 검토가 필요하지만 대기층과 막골층 내에 발달하는 용식붕락각력암과는 뚜렷하게 구분된다(그림 7, 12).

예미각력암 상위의 고성세일은 주로 흑색 셰일과 암회색 이회암으로 구성되어 있으며 두께는 약 50 m로 측정된다. 고성세일 상위의 고성석회암은 주로 사면을 따라 퇴적된 탄산염각력암 등을 포함하는 석회암으로 구성되고 두께는 60-70 m로 측정되었다. 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)에 의하면 고성세일은 예미각력암 위에 정합으로 놓이며 상

위의 고성석회암과도 정합관계인 것으로 해석하였다(그림 11). 또한 Kim (1969)은 고성세일과 직운산세일에서 *Basilicus yokusensis* 및 기타 수종의 화석을 발견하고 고성세일은 직운산층의 연장이며, 따라서 고성석회암도 두위봉층에 해당하는 것으로 보고 예미각력암층은 막골층 상부에 협재된 탄산염각력암으로 퇴적 시에 국부적으로 형성된 중간 탄산염각력암으로 해석하였다.

한편, 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)은 정선지역 조선누층군을 장산층, 묘봉층, 대기층, 세송층, 화절층, 동점층, 두무동층, 막골층, 10 m 두께의 규암층, 정선석회암층, 행매층으로 구분하였으며 Hisakoshi (1943)가 제안된 죽령층과 자운층을 인정하지 않았다(그림 11). 아울러 막골층 상위에 정합으로 놓이는 10 m 두께의 규암층, 정선석회암층, 행

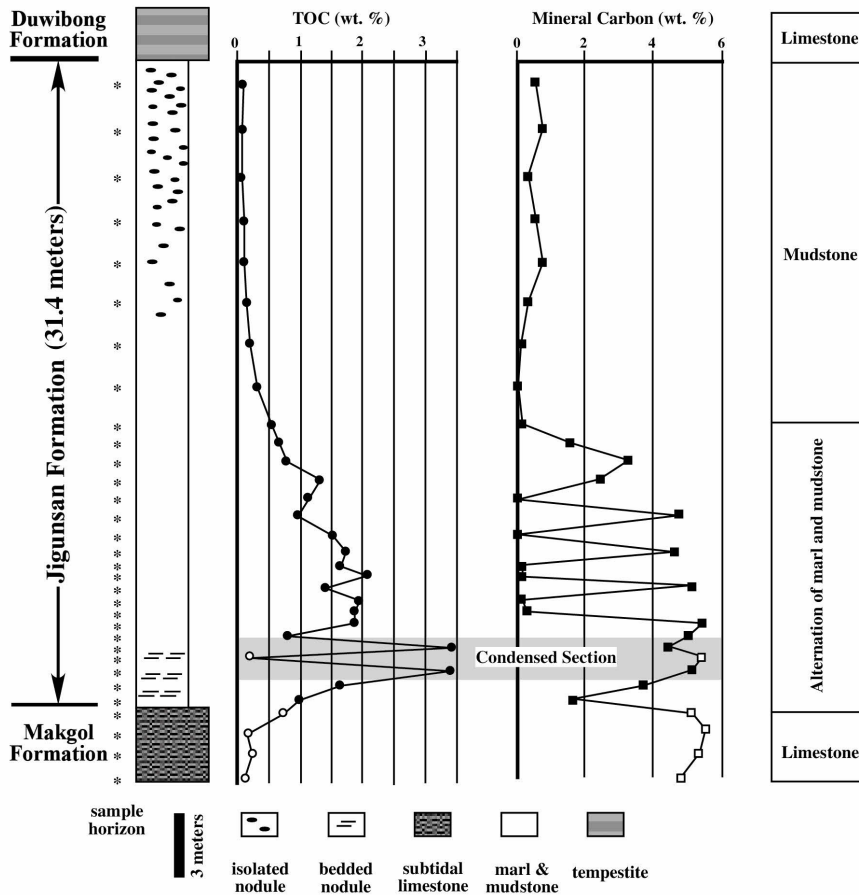


Fig. 10. Stratigraphic distribution for Total Organic Carbon (TOC) and Mineral Carbon (MC) contents (wt.%) of the Jigunsan Formation, near Dongjeom.

매층을 삼척-태백지역 조선누층군의 막골층 상위에 정합적으로 놓이는 직운산층과 두위봉층에 대비하였다(GICTR, 1962).

Lee (1980)는 정선지역에 분포하는 조선누층군 최상부에서 실루리아기를 지시하는 코노돈트 화석을 발견하고 이를 회동리층이라고 명명하였다(그림 11). 회동리층은 정선지역의 조선누층군의 상부층인 행태층 위에 부정합적으로 놓이며 평안누층군에 의하여 부정합으로 덮이는 층이다. 이 층은 정선군 서면 회동리를 중심으로 남쪽으로는 평창군 미탄면과 북쪽으로는 정선군 정선을 일대까지 분포한다. 이 층의 주 암상은 청회색 내지 유백색의 괴상 석회암이며, 간혹 돌로마이트질 석회암이 협재한다. Lee (1980, 1982)는 이 층에서 약 60여 종의 코노돈트 화석을 기재하고, 이들을 2개의 화석군집으로 구분하여 유럽과 북아메리카의 실루리아 전기-중기의 화석군과 대비하였다. 이 층의 두께는 약 200 m로, 퇴적 환경은 얕은 바다였을 것으로 해석되었다. 최근, Lee (2018, 2019)는 회동리층에서 오오도비스 중기-후기

의 코노돈트 화석을 기재하였으며 이를 근거로 회동리층을 실루리아기 지층이 아닌 오오도비스기의 퇴적층으로 해석하였다.

한편, 영월지역 조선누층군 지질에 관한 최초의 연구는 Yoshimura (1940)에 의하여 이루어졌으며, 그는 영월지역 조선누층군을 하부로부터 삼방산층, 마차리층, 와곡층, 문곡층, 영흥층으로 구분하였다(그림 11). 최하부의 삼방산층은 사암과 셰일로 그리고 상위의 네 층은 주로 탄산염암으로 구성된다. 이후 이루어진 고생물학적 연구(Kobayashi, 1960, 1961, 1962)에 의하여 하부의 세 층은 캄브리아기에 그리고 상부의 두 층은 오오도비스기에 속한다는 사실이 알려졌다. 영월지역의 지질구조는 남북방향으로 배열된 크고 작은 여러 개의 트러스트 단층과 습곡으로 인하여 매우 복잡하다(그림 1). 향후 영월지역 조선누층군의 층서 확립과 함께 삼척-태백지역 조선누층군과의 층서 대비가 재검토되어야 한다.

한편, 평창지역에 분포하는 평창형 조선누층군은 변성작용을 심하게 받아 암질의 구분이 용이하지 않

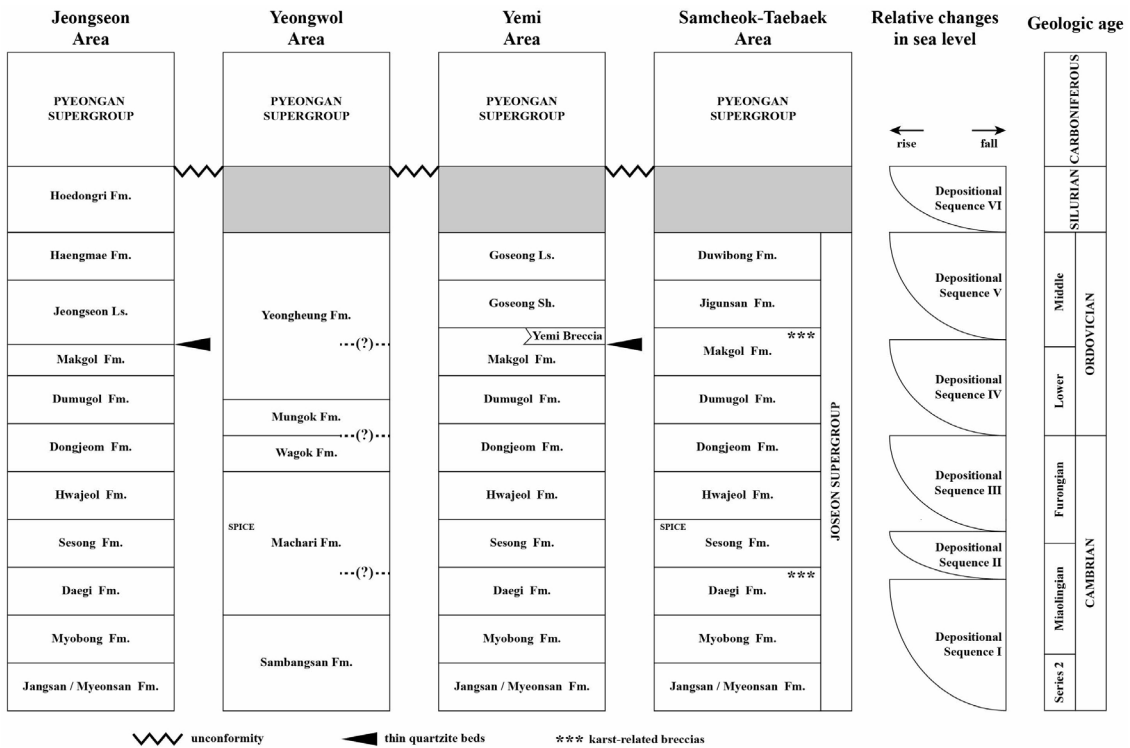


Fig. 11. Lithostratigraphic nomenclature and regional correlation of the Cambrian-Ordovician Joseon Supergroup, Taebaeksan Basin and its sequence stratigraphic interpretation.

고, 또한 화석의 산출이 알려져 있지 않기 때문에 층서에 대한 견해가 다양하며 대비에도 많은 문제가 있다. 평창지역을 처음 조사한 Hukasawa (1943)는 하부 고생대 퇴적층을 하부로부터 송봉편암층, 변성 대석회암층, 둔전천매암층으로 구분하였고, Kobayashi (1966)는 송봉편암층을 삼척-태백지역 조선누층군의 장산규암과 묘봉층에, 그리고 둔전천매암층을 세송층에서 두무골층에 해당하는 지층들과 대비할 수 있을 것으로 생각하였다. 그러나, Cheong *et al.* (1973)은 평창지역의 조선누층군을 하부로부터 장산층, 묘봉층, 풍촌층, 대하리층, 입탄리층, 정선석회암층으로 구분하였으며 이들을 삼척-태백지역 조선누층군과 대비하였다. 풍촌층 상위의 대하리층은 쇄설성 퇴적암으로 세송층에서 두무골층에 대비되는 퇴적층으로, 그 상위의 입탄리층은 백색 석회암과 돌로마이트로 이루어진 퇴적층으로 막골층에, 그 상위에 정합으로 놓이는 정선석회암층은 직운산층과 두위봉층에 대비되는 퇴적층으로 해석하였다. 최근, Jang and Cheong (2019)은 정선-평창지역에 대한 구조지질학적 연구를 통해 정선대향사를 정의하고, 정선대향

사축을 기준으로 서쪽의 평창지역과 동쪽의 정선지역의 층서가 장산층, 묘봉층, 풍촌층, 대하리층, 입탄리층, 정선석회암층, 행매층, 회동리층 등으로 구분될 수 있음을 보고하였다.

문경지역에 분포하는 조선누층군은 Aoti (1942)에 의해 하부로부터 구랑리층, 마성층, 하내리층, 석교리층, 정리층, 도탄리층으로 구분되었다. 최하부의 구랑리층은 적색 및 청회색의 세일로 이루어지며, 그 상위의 층들은 석회암과 세일의 호층으로 구성된다. Kobayashi (1961)는 구랑리층에서 삼엽충 *Radlichia nobilis*를 보고하고 이 층의 지질시대를 전기 캄브리아기로 생각하였다. 그 상위층인 마성층, 하내리층, 석교리층에서는 캄브리아기, 정리층과 도탄리층에서는 오오도비스기의 화석을 보고하였다.

4. 새로운 개념의 층서분석: 시퀀스층서학

4.1 시퀀스층서(sequence stratigraphy)

한반도 남부와 북부에 분포하는 하부 고생대 퇴적층은 일본인 학자들에 의해 집중적인 연구가 시작



Fig. 12. An outcrop expression of the Yemi Breccia. The breccia displays very poorly sorted, disorganized, matrix-supported fabric and occurs in the west of Yemi as km-wide wedges (see Fig. 1). Lens cap for scale.

된 이후 지난 140여 년 동안 많은 지질학자들에 의해 다양한 주제에 대한 연구가 진행되어 왔다. 하부 고생대 퇴적층에 대한 그동안의 연구는 주로 퇴적층들의 지역 간 대비를 위한 암층서 확립 및 시대 결정을 위한 생층서 연구, 퇴적상 변화에 의한 퇴적환경을 밝히는데 초점이 맞추어져 왔으며, 이러한 연구들의 결과로서 지역 간 암상 및 화석군의 차이가 있음이 인정되어 왔다. 특히 한반도 남부지역에 분포하는 조선누층군 퇴적층은 지역 간 암상 및 화석군의 차이에 따라 두위봉형, 정선형, 영월형, 평창형 및 문경형 또는 태백층군, 영월층군, 문경층군 등으로 구분 기재되어 왔다. 그러나 이러한 암층서를 기본으로 하는 기재적 층서학(descriptive stratigraphy)은 퇴적층의 동정 및 대비에 있어 시공간상에서 일어날 수 있는 퇴적 작용의 다양성에 대한 개념이 본질적으로 결여되어 있기 때문에 동일한 퇴적분지 전반에 걸쳐 일어나는 퇴적 양상의 시공간적 변화 및 성인적 층서 관계 등, 실제적 퇴적 분지 발달사를 연구하는데 있어 하나의 문제점으로 지적되어 왔다(Wilgus *et al.*, 1988; Galloway, 1989; Van Wagoner *et al.*, 1990). 이러한 문제점은 곧 기존의 암층서와 같은 기재적 층서단위를 기본으로 한 층서해석에 심각한 오류가 있을 수 있음을 반영한다. Ryu *et al.* (1997)에 의해 제기된 한반도 남부지역의 고생대 퇴적층인 평안누층군 및 조선누층군의 층서 및 퇴적 작용에 관한 재고찰의 필요성도 바로 이러한 문제점을 인식한 것으로 볼 수 있다.

전술한 기재적 층서학에 있어서의 본질적 문제점은 퇴적층들을 punctuated aggradational cycle (Goodwin and Anderson, 1985) 또는 parasequence (Van Wagoner, 1985)와 같은 성인적 단위층(genetic unit)들로 나누어 퇴적층들에 대한 보다 성인적 접근을 함으로써 풀려질 수 있으며, 이와 같은 퇴적층들에 대한 성인적 접근은 80년대 말 이후로 새로운 층서적 사고의 틀로 꾸준히 발전되어 오고 있는 시퀀스층서학(sequence stratigraphy)의 개념을 적용함으로써 가능해질 수 있다. 시퀀스층서학의 개념은 미국 엑슨 석유 회사(Exxon Oil Company)의 연구팀에 의한 탄성파층서학(seismic stratigraphy)의 개념으로부터 시작되었으며 탄성파 자료를 층서학적으로 기술하고 층서적 불연속면을 상대적 해수면 변화(eustatic sea-level change)로 해석하려고 시도한 것이다. 이후 Fisher

and McGowan (1967)의 퇴적계(depositional system)의 개념을 도입, 층서를 범지구적 해수면 변화에 따른 저수위기 퇴적계(lowstand systems tract), 해침기 퇴적계(transgressive systems tract) 및 고수위기 퇴적계(highstand systems tract) 및 강제해퇴기 퇴적계(forced-regression systems tract)로 구분하여 해석하려는 개념이 시퀀스층서학으로 발전되었다. 시퀀스층서학에서는 모든 퇴적층을 상대적 해수면의 반복적인 상승과 하강에 의해 퇴적되는 것으로 보고 한 번의 상대적 해수면의 상승과 하강 동안에 쌓인 퇴적층을 퇴적시퀀스(depositional sequence)라는 성인적 층서단위로 퇴적층들을 대비시키고자 하는 개념이다. 따라서 하나의 퇴적시퀀스는 상대적 해수면이 가장 낮았을 때 만들어지는 부정합면과 이에 시간적으로 대비되는 정합면을 합친 시퀀스경계(sequence boundary)에 의해 하한과 상한이 한정되며, 범지구적 해수면이 상승한 후 하강하는 기간 동안에 쌓인 성인적으로 연계되어있는 저수위기 퇴적계, 해침기 퇴적계, 고수위기 퇴적계 및 강제해퇴기 퇴적계로 구성된 단위층으로 정의된다(Mitchum, 1977; Plint and Nummedal, 2000).

4.2 삼척-태백 및 정선, 평창지역 조선누층군의 시퀀스층서 해석

삼척-태백지역의 조선누층군에 대한 시퀀스층서학적 연구가 진행되었으나(Sim and Lee, 2006; Kwon *et al.*, 2006; Woo and Chough, 2007) 아직 충분하지 않고 향후 더 많은 연구들이 진행되어야 한다. 그러나 지금까지의 층서 연구들을 종합하여 시퀀스층서의 개념을 적용해 보면 삼척-태백지역에 분포하는 캄브로-오르도비스기의 조선누층군과 실루리아기 회동리층을 부정합면 또는 부정합면에 시간적으로 대비되는 정합면에 의해 상부와 하부가 경계되는 6개(I-VI)의 퇴적시퀀스(depositional sequence)로 구분할 수 있다(그림 11).

최하부의 퇴적시퀀스(I)는 상부 원생대층을 기반암으로 그 위를 부정합(?)으로 피복하고 있는 장산/면산층, 묘봉층, 대기층의 일부를 포함하며 약 550 m의 두께를 보인다. 장산층은 저수위기 동안에 지역에 따라 전진하는 삼각주 퇴적상이며 기본적으로 해수면이 상승하면서 해침기와 고수위기 동안에 흑색 셰일(묘봉층)이 퇴적된 후 점차 해수면이 낮아지

면서 강제해퇴기 동안 탄산염 대지 환경 하에서 대기층이 퇴적되어 형성된 퇴적시퀀스로 해석된다(그림 11). 본 퇴적시퀀스의 최상부에는 탄산염 대지가 대기 중에 장기간 노출되어 형성되는 용식-붕락 각력암층이 잘 발달한다(Jang *et al.*, 2019). 본 퇴적시퀀스는 캄브리아기 제2세(Series 2)와 미아오링지안세(Miaolingian)의 드럼이안절(Drumian) 초에 걸쳐 퇴적된 층으로 추정되며(그림 2), 북미의 Sauk Sequence의 sub-Sauk I과 대비된다. 본 퇴적시퀀스의 하부 경계면은 선캠브리아 이언의 올리층군(또는 태백산층) 또는 화강암(예, 홍제사화강암) 위에 부정합면이며, 상부 경계면은 대기층 내 돌로마이트와 용식붕락각력암이 우세한 중부 구간과 석회암이 우세한 상부 구간 사이의 부정합면으로 추정된다(그림 2, 3, 11).

퇴적시퀀스(I)을 부정합으로 피복하는 퇴적시퀀스(II)는 대기층 최상부의 해침기 동안에 퇴적된 해침상의 석회암층, 고수위기 동안에 퇴적된 세송층 하부구간의 세일층, 강제해퇴기 동안에 퇴적된 세송층 상부 구간의 외대륙붕 환경하에서 퇴적된 사암층 일부를 포함하는 석회암-세일-사암층으로 구성되며, 두께는 약 200 m 정도이다(그림 11). Joo and Ryu (2012)와 Ryu and Oh (2013)는 세송층 상부의 사암층 내에 파도가 우세한 환경에서 조류가 우세한 환경으로 급변하는 층준에 존재하는 부정합면을 인지하고 이를 퇴적시퀀스(II)의 상부 경계면으로 해석하였다(그림 6). Ryu and Oh (2013)와 Lim *et al.* (2015)은 직동지역 세송층에 대한 안정탄소동위원소 분석을 통해 탄소동위원소 값이 음(-)에서 양(+)으로 전이되는 탄소동위원소 이상대가 있음을 규명하였고 이를 프롱지안세(Furogian) 스텝토이안 탄소동위원소 이상대(SPICE; Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion)에 대비하였다. 한편, Chung *et al.* (2011)은 마차리 지역 마차리층에 대한 안정탄소동위원소 분석을 통해 탄소동위원소 값이 음(-)에서 양(+)으로 전이되는 탄소동위원소 이상대가 있음을 규명하고 이를 프롱지안세(Furogian) 스텝토이안 탄소동위원소 이상대(SPICE; Steptoean Positive Carbon Isotope Excursion)에 대비하였다. 본 퇴적시퀀스(II)는 북미의 Sauk Sequence의 sub-Sauk II와 대비되며, 본 퇴적시퀀스의 상부 경계면은 전 세계적으로 해수면이 하강하면서 형성되는 부정합면으로 부정

합면의 시기는 약 494 Ma 정도로 한정된다(그림 2, 6, 11).

퇴적시퀀스(II)를 부정합으로 피복하는 퇴적시퀀스(III)는 약 230 m 두께를 보이며, 세송층 상부 구간의 내대륙붕 환경하에서 퇴적된 사암층과 화절층 및 동점층 하부층원의 일부를 구성하는 세일-석회암-규암 호층대를 포함한다(그림 10). 프롱지안세(Furogian)로 들어와 퇴적시퀀스(II)의 상부 경계면이 형성된 후, 해수면이 상승하면서 해침기 동안에 세송층 상부 구간의 내대륙붕 환경하에서 사암층이 퇴적되었던 것으로 해석된다. 이후 고수위기 동안에 해수면이 점진적으로 상승-하강하면서 천해성 탄산염 대지 환경이 형성되어 화절층에 해당되는 해침-해퇴상의 세일-석회암이 호층으로 퇴적되었으며, 강제해퇴기 동안에 쇄설성 퇴적물의 유입과 함께 해퇴상의 동점층 하부층원이 퇴적된 단위층으로 해석된다. 그러나, 본 퇴적시퀀스의 상부 경계면은 뚜렷하지 않다. 향후 본 퇴적시퀀스 상부경계면에 대한 정밀 연구가 필요하지만 동점층 내에서 세립질 사암층이 조립질 사암층으로 급격하게 전이되는 동점층 하부층원과 중부층원의 경계면이 상부경계면으로, 시기적으로는 약 487 Ma 내외로 추정된다(그림 2, 11). 본 퇴적시퀀스(III)는 북미의 Sauk Sequence의 sub-Sauk III와 대비된다(그림 11).

퇴적시퀀스(IV)는 동점층 중부 및 상부층원, 두무골층과 막골층의 기저층원, 하부층원, 중부층원으로 구성되며, 약 300-470 m 정도의 두께를 보인다. 오오도비스기로 들어와 퇴적시퀀스(III)의 상부 경계면이 형성된 후, 해수면이 상승하는 해침기와 고수위기 동안에 동점층 중부 및 상부 구간과 두무골층이 퇴적되었다. 이후 강제해퇴기 동안에 해수면이 점진적으로 하강하면서 천해성 탄산염 대지 환경이 형성되어 막골층 기저층원, 하부층원, 중부층원에 해당되는 해퇴상의 천해성 석회암이 퇴적된 단위층으로 해석된다(그림 11). 본 퇴적시퀀스의 상부 구간(막골층 중부층원)에 규질 돌로마이트층이 포함되어 있어 상부로 갈수록 육지로부터 쇄설성 퇴적물의 유입이 있음을 지시한다. 특히, Ryu *et al.* (1997)은 막골층 중부층원에만 한정되어져 나타나는 탄산염 각력암을 주목하면서 이를 대기노출에 의한 고기 카르스트 형성에 따른 용식-붕락 탄산염각력암으로 해석하고 막골층 중부층원과 상부층원의 경계면을 고

기 카르스트 형성과 관련된 부정합면으로, 퇴적시퀀스(IV)의 상부 경계면으로 해석하였다(그림 7, 8). 본 퇴적시퀀스(IV)는 전기 오오도비스기와 중기 오오도비스기 동안에 퇴적된 북미의 Sauk Sequence의 sub-Sauk IV와 대비된다(그림 11). 퇴적시퀀스(IV)의 상부 경계면인 부정합면은 전 세계적으로 대비되는 부정합면인 Sauk-Tippecano Sequence Boundary와 일치하며 시기적으로 약 467 Ma 정도로 한정된다(그림 2, 11).

퇴적시퀀스(IV)를 부정합으로 피복하는 퇴적시퀀스(V)는 중기 오오도비스 퇴적층인 막골층 상부층원, 직운산층, 두위봉층으로 구성된다(그림 11). 본 퇴적시퀀스는 약 80 m 두께의 막골층 상부층원이 해침기 동안에 퇴적된 석회암층으로, 중부의 30 m 두께의 직운산층이 고수위기에 퇴적된 셰일층으로, 상부의 100 m 두께의 두위봉층이 강제해퇴기 동안에 퇴적된 석회암층으로 구성된다. 퇴적시퀀스(IV)의 퇴적에 이어 대기노출에 의한 카르스트 지형이 형성된 후, 급격한 해침이 일어나면서 탄산염대지 위에 해침부정합면(drowning unconformity)이 형성되면서 해침기 동안에 막골층 상부층원의 흑색 석회암과 고수위기 동안에 직운산층 하부층원의 흑색 셰일이 퇴적되었다. 이후 강제해퇴기에 들어와 점차 해수면이 낮아지면서 직운산층의 중부 및 상부층원의 셰일층과 탄산염 대지 환경의 두위봉층의 석회암과 백운암이 순차적으로 퇴적되었음을 지시한다. 본 퇴적시퀀스는 에미지역의 에미각력암층 직하부 약 10 m 두께의 규암층 및 에미각력암층, 고성셰일층, 고성석회암층에, 정선지역의 정선석회암층 직하부 약 10 m 두께의 규암층 및 정선석회암층, 행매층에 대비된다(그림 11). 본 퇴적시퀀스(V)는 북미의 Tippecano Sequence의 sub-Tippecano I과 대비되며 상부 경계면은 시기적으로 약 458 Ma 정도에 해당된다.

퇴적시퀀스(V)를 부정합으로 피복하는 퇴적시퀀스(VI)는 실루리아기 회동리층으로 구성되며, 평안누층군에 의하여 부정합으로 덮이는 퇴적층이다(그림 11). 하부의 퇴적시퀀스(V)가 퇴적되고 구조적 용기와 함께 장기간에 걸쳐 침식이 일어난 후, 지역적으로 분리되었던 분지 내에 해수면 상승에 의해 퇴적된 퇴적층으로 해석된다(그림 11). Lee (1980, 1982)는 이 층에서 약 60여 종의 코노돈트 화석을 기재하고, 이들을 2개의 화석군집으로 구분하여 유럽과 북

아메리카의 전기-중기 실루리아기의 화석군과 대비하였다. 따라서 본 퇴적시퀀스(VI)는 북미의 Tippecano Sequence의 sub-Tippecano II에 대비된다.

5. 토 의

그동안 수행되었던 태백산분지 조선누층군에 대한 연구의 결과를 분석해 보면 조사대상 퇴적층이 연구자들의 직관에 따라 층의 경계가 정의되고 있어 연구 결과에 해석적 오류가 포함되어 있음이 인지된다(예; Kim *et al.*, 2016). 이러한 해석적 오류는 퇴적단위층(예; 암석층서단위)의 상하부 경계면에 대한 정의와 함께 표식단면(type section) 및 참고단면(reference sections)에 대한 이해가 없는 상태에서 연구가 수행되었기 때문이며, 아울러 표식단면 또는 참고단면에 대한 정확한 정보가 제공되지 않고 있기 때문이다. 따라서, 향후 연구의 해석적 오류를 없애기 위해서는 태백산분지 조선누층군의 표식단면 또는 참고단면에 대한 정확한 정보가 제공되어야 한다. 아울러, 연구 수행 초기 단계에 연구자들이 연구지역 퇴적단면을 해당 암석층서단위의 표식단면 또는 주요 참고단면과 비교를 통한 층서퇴적학적 이해가 선행되어야 연구 결과의 해석적 오류를 피할수 있다.

태백산분지 조선누층군 암석층서단위의 주요 특징들을 다음과 같이 종합한다. 1) 장산층은 세 개의 층원(역질규암층원, 조록층원, 장산층원)으로 구분되며, 면산층은 장산층원의 지역적 퇴적변이에 따른 장산층의 공간적 변화로 해석한다. 2) 묘봉층은 흑회색 슬레이트만으로 구성된 퇴적층으로 한정하며 층서적 상위로 가면서 나타나는 첫 번째 석회암층과의 경계를 층의 상부 경계로 정의한다. 3) 대기층은 석회암이 우세한 하부 구간, 돌로마이트와 용식붕락 각력암이 우세한 중부 구간, 석회암이 우세한 상부 구간으로 구분된다. 4) 세송층은 셰일-석회암-사암의 호층대로 화절층과의 경계면이 뚜렷하지는 않지만, 세송사암층 상위에 나타나는 두꺼운 단괴상 석회암층과의 경계를 상부 경계로 정의한다. 5) 화절층은 세 개의 층원(하부화절층원, 화절규암층원, 상부화절층원)으로 구분되며, 화절규암층원은 층서적 상위에 있는 동점규암층과 반드시 구분되어야 한다. 6) 동점규암층은 규암으로만 구성되는 층으로 상하부가 암상에 의해 뚜렷하게 구분된다. 7) 두무골층

은 셰일, 석회암의 교호층으로 층서적 상위로 가면서 나타나는 첫 번째 흑색 돌로마이트층과의 경계를 층의 상부 경계로 정의한다. 8) 막골층은 암상을 기준으로 기저층원, 하부층원, 중부층원, 상부층원으로 구분되며, 중부층원은 용식분락각력암이 특징적으로 나타난다. 층서적 상위로 가면서 나타나는 첫 번째 흑색 셰일층의 경계가 층의 상부 경계로 정의된다. 9) 직운산층은 셰일이 우세한 퇴적층으로 층서적 상위로 가면서 나타나는 첫 번째 석회암층과의 경계가 층의 상부 경계로 정의된다. 10) 두위봉층은 석회암이 우세한 퇴적층으로 평안누층군과의 경계가 상부 경계이다.

전술한 태백산분지 조선누층군의 암석층서는 퇴적층의 기재적 특징 및 지역적 분포에 대한 정보들을 제공하기 때문에 퇴적층의 동정 및 지역 간 대비에 매우 유용하다. 특히, 태백산분지 북동부 백운산향사대 삼척-태백, 동점, 예미 지역의 조선누층군과 평창, 정선 지역 조선누층군의 암석층서는 거의 유사하며, 지역적으로 잘 대비된다(그림 11). 그러나, 영월 지역과 문경 지역의 조선누층군은 삼척-태백 지역 조선누층군과 암석층서단위로는 직접적인 대비가 불가능하다. 동일한 분지 내에서 일어나는 지역 간 퇴적층의 변화는 공간상에서 일어날 수 있는 퇴적작용의 다양성으로 설명될 수 있다. 그러나, 암석층서단위와 같은 기재적 층서학은 퇴적층의 동정 및 대비에 있어 시공간상에서 일어날 수 있는 퇴적작용의 다양성에 대한 개념이 본질적으로 결여되어 있어 동일한 퇴적분지라 하더라도 퇴적분지 전반에 걸쳐 일어나는 퇴적양상의 시공간적 변화를 예측하고 퇴적작용을 지배하는 성인적 요인들을 분석하는 등, 실제적 퇴적분지 발달사를 연구하는데 하나의 문제점으로 지적되어왔다(Wilgus *et al.*, 1988; Galloway, 1989; Van Wagoner *et al.*, 1990). 이러한 문제점은 기존의 암석층서와 같은 기재적 층서단위를 기본으로 한 연구에 심각한 해석적 오류가 있을 수 있음을 반영한다. 따라서 이에 대한 문제점을 해결하기 위해 새로운 층서분석이 필요하다.

태백산분지 하부 고생대 퇴적층에 대한 새로운 층서해석을 위한 시퀀스층서학적 분석 결과를 보면, 조선누층군은 6개의 퇴적시퀀스(I-VI)로 구분된다(그림 11). 각 퇴적시퀀스는 상부와 하부가 부정합면(또는 시간적으로 준하는 정합면)으로 경계되며, 하부

로부터 저수위기 퇴적계, 해침기 퇴적계, 고수위기 퇴적계 및 강제해퇴기 퇴적계에 해당되는 퇴적층들이 순차적으로 나타나는 특징적인 퇴적단위층이다(그림 11). 퇴적시퀀스를 기준으로 지역 간 대비를 하면 암석층서단위로 대비를 했을 경우, 직접적인 대비가 불가능했던 영월 지역 조선누층군과 삼척-태백 지역 조선누층군과의 대비가 가능할 수 있다. 태백 지역 조선누층군 세송층 상부 사암층 내에 존재하는 스텝토이안 탄소동위원소 이상대가 영월 지역 조선누층군 마차리층 상부에도 인지되고 있으며, 마차리층 내 스텝토이안 탄소동위원소 이상대의 상부 경계는 sub-Sauk II의 상부 경계면에 대비된다(그림 11). 향후 영월 지역 조선누층군에 대한 연구가 더 많이 진행되어야 하지만 현재까지 진행된 연구의 결과를 보면 태백 지역 조선누층군의 퇴적시퀀스 경계면들과 시공간적으로 대비가 가능한 경계면들이 영월 지역 조선누층군에도 보고되고 있다. Kwon (2012)은 영월 지역 마차리층 하부 돌로마이트 층준 *Lejopyge armata* 생층서대에서 석회각력암층을 보고하였으며, 이는 곧 태백 지역 대기층 중부 구간과 상부 구간의 경계면인 sub-Sauk I의 상부 경계면에 시공간적으로 대비될 수 있다(그림 11). 아울러 외곡층과 문곡층의 경계면은 sub-Sauk III 경계면에, 영흥층 하부 층준 내 조상대 상조합(peritidal facies association)에서 조하대 상조합(subtidal facies association)으로 급격하게 전이되는 경계면은 sub-Sauk IV의 상부 경계면에 각기 대비될 수 있다(그림 11).

퇴적시퀀스의 공간적 대비와 함께 수직층서상 변화를 보면 시간에 따른 퇴적분지 발달사에 대한 새로운 정보를 얻을 수 있다. 태백 지역 조선누층군 퇴적시퀀스 I, II, III, IV는 태백산분지 전반에 걸쳐 잘 대비되며, 공간적 변화도 심하지 않다. 이는 퇴적이 일어나는 동안, 급격한 구조운동 없이 분지가 천천히 침강하면서 해수면의 상승과 하강에 따라 분지 전반에 걸쳐 퇴적작용이 제어되었던 것으로 추론할 수 있다. 반면에 퇴적시퀀스 V는 분지 전반에 걸쳐 잘 대비되지만, 공간적 변화가 심하다. 이는 곧 퇴적시퀀스 V가 퇴적되는 동안에 일어났던 퇴적작용은 구조운동에 따라 지역적으로 제어되었던 것으로 추론할 수 있다. Ryu *et al.* (2005)은 이러한 태백산분지 퇴적시퀀스의 수직적 변화를 오오도비스 중기에 일어났던 구조운동에 의해 분지의 비대칭적 침강에

기인한 퇴적작용으로 해석하였다(그림 13, 14). 특히, 예미 지역의 예미각력암층과 그 직하부의 10 m 두께의 규암층을 사면을 따라 퇴적되는 퇴적동시성 퇴적층으로 해석하였으며, 정선 지역의 정선석회암층을 깊은 외대륙붕 환경하에서 퇴적된 퇴적층으로 해석하여 태백 지역의 직운산층과 두위봉층에 대비하였다(그림 13, 14).

태백산분지 하부 고생대 조선누층군에 대한 시퀀스층서 해석을 북한지역 평남분지에 분포하는 하부 고생대 황주누층군에 적용하면 매우 흥미로운 점이 도출된다. 황주누층군은 평남분지에 넓게 분포하며, 선캠브리아 지층 위에 부정합적으로 놓여 있는 것으로 알려져 있다. 황주누층군은 암상과 화석에 의하여 캄브리아기의 중화층군, 흑교층군, 무진층군, 곽풍층군과 오오도도비스기의 신곡층군, 만달층군, 상서리층군, 그리고 실루리아기의 곡산층과 월양리층

으로 세분된다(Om *et al.*, 1993). 향후 북한지역 평남분지 황주누층군에 대한 자세한 연구가 진행되어야 하지만 현재까지 문헌상으로는 알려진 내용을 시퀀스층서적으로 해석하면 황주누층군은 부정합면과 이에 시간적으로 대비되는 정합면에 의해 상한과 하한이 한정되는 6개(I-VI)의 퇴적시퀀스(depositional sequence)로 구분할 수 있다(Ryu, in preparation). 이러한 점은 지구조적으로 분리되어있는 태백산분지 하부 고생대 조선누층군과 평남분지 하부 고생대 황주누층군이 암층서단위로의 직접 대비는 매우 어렵지만 시퀀스층서적으로는 잘 대비될 수 있음을 보여 주는 좋은 예가 된다(그림 1).

본 논문에서 제시하는 태백산분지 태백 지역 하부고생대 퇴적층에 대한 새로운 층서 해석은 분지 내 층서 대비에 매우 효율적인 층서틀을 제공한다. 아울러, 퇴적작용의 공간적 변이로부터 태백산분지

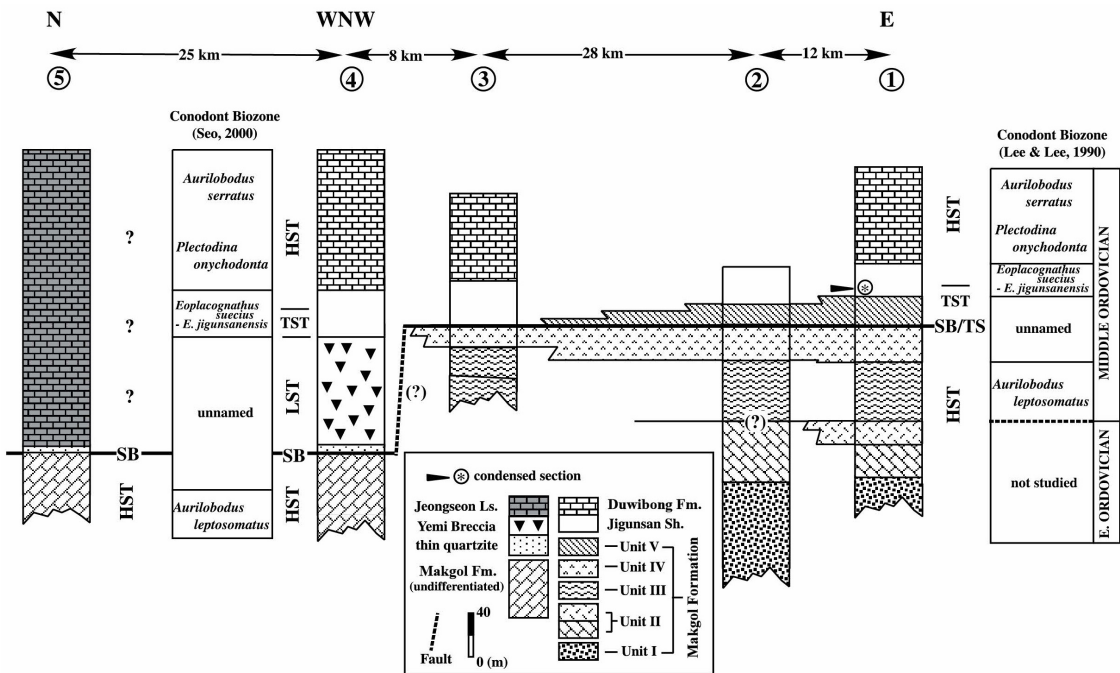


Fig. 13. Regional correlation of the measured stratigraphic sections along the southern limb of the Baekunsan Syncline in the Middle Ordovician (see Fig. 1 for location of measured sections). Stratigraphic sections are simplified. The Sauk-Tippecano sequence boundary (thick solid line) is a conformable transgressive surface that directly overlies a prograding highstand systems tract without intervening lowstand systems tract. A lowstand systems tract (the Yemi Breccia and thin quartzite lenses) is confined to the area seaward of the platform margin. Dotted line between sections 3 and 4 represents an inferred normal fault that was transposed to a thrust due to inversion tectonics during the late Paleozoic-Early Triassic. Conodont biozone in Dongjeom section from Lee and Lee (1990); Conodont biozone in Yemi section from Seo (2000). SB, sequence boundary; TS, transgressive surface; LST, lowstand systems tract; TST, transgressive systems tract; HST, highstand systems tract.

의 구조적 발달사 해석을 위한 유용한 정보들이 도출되었다. 이러한 태백산분지의 새로운 층서 해석은 향후 남북한 간의 하부 고생대 퇴적층을 대비하는 기준으로 사용될 수 있으며, 인접 남중국 및 북중국, 또는 북미대륙 등 여타 지역과의 광역적 층서대비에 새로운 기준으로 사용될 수 있다.

6. 결론

태백산분지 하부 고생대 조선누층군에 대한 기존의 연구 결과들과 근래에 들어와 수행되었던 최신의 연구 결과들을 검토한 결과, 다음과 같은 결론이 도출된다.

1) 삼척-태백지역 조선누층군은 연속적인 퇴적작용에 의해 퇴적된 정합적인 퇴적층이 아닌 부정합면에 의해 단절된 6개의 퇴적시퀀스(I-VI)로 구분된다.

2) 캄브리아기 제2세부터 오오도비스기 중부세 초까지에 걸쳐 퇴적된 퇴적시퀀스 I, II, III, IV는 태백산분지 전반에 걸쳐 잘 대비되며, 이는 급격한 구조운동 없이 분지가 천천히 침강하면서 해수면의 상승과 하강에 따라 분지 전반에 걸쳐 퇴적작용이 일어났던 것으로 해석된다.

3) 오오도비스기 중부세 초에서 말까지에 걸쳐 퇴적된 퇴적시퀀스 V는 분지 전반에 걸쳐 퇴적상 변화가 심하게 나타나며, 이는 곧 퇴적작용이 오오도비스기 중기 후반으로 들어오면서 급격한 구조운동에 의해 분지의 비대칭적 침강에 따라 퇴적작용이 제어되었던 것으로 해석된다.

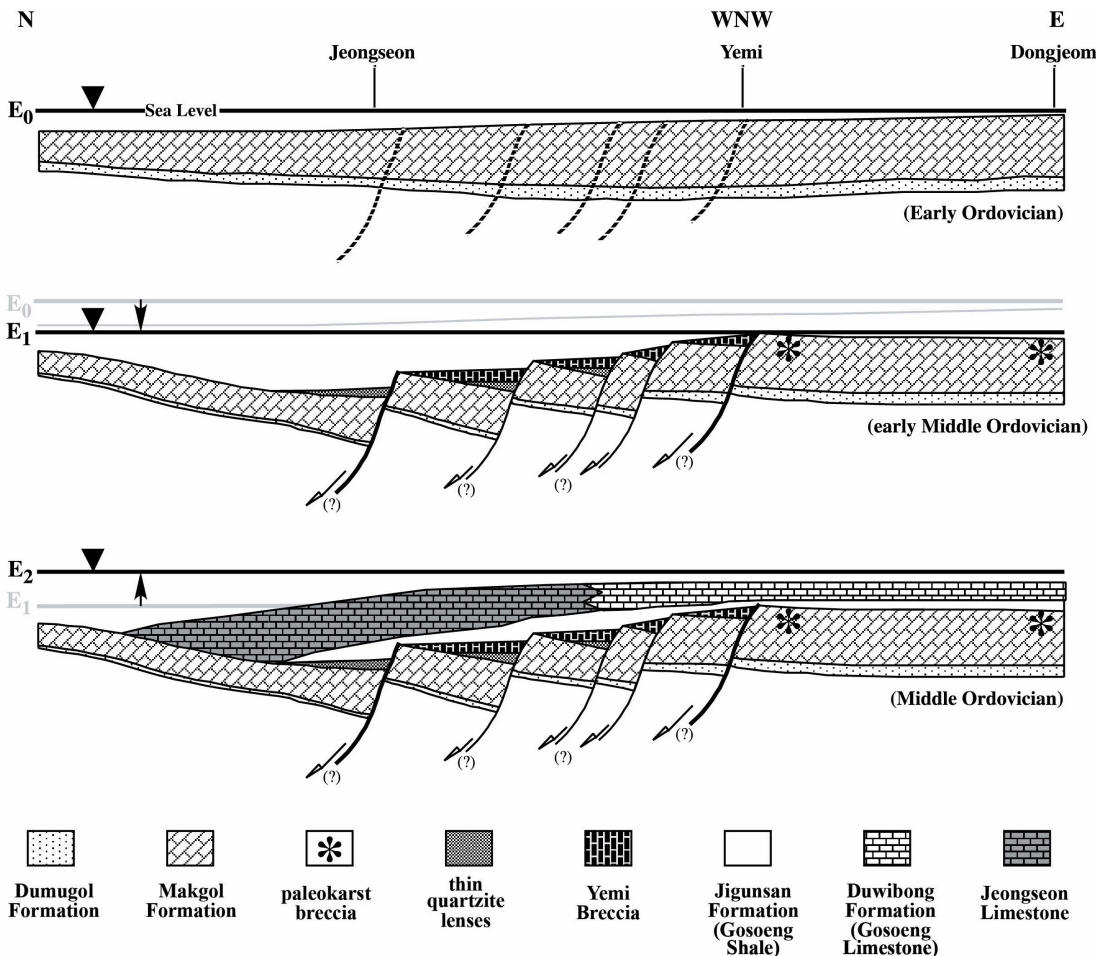


Fig. 14. Schematic sketch illustrating the stratigraphic and tectonic evolution of the Taebaeksan Basin during the Early to Middle Ordovician.

4) 시퀀스 V 퇴적 이후, 오오도비스 후기 동안에 분지 내 구조 역전이 있었으며, 실루리아기 초에 퇴적된 시퀀스 VI는 구조 역전 이후, 지역적으로 고립된 소규모 분지에 퇴적된 퇴적체로 해석된다.

5) 본 논문에서 제시하는 태백산분지 태백 지역 하부고생대 조선누층군에 대한 새로운 층서 해석은 분지 내 층서 대비에 매우 효율적인 층서틀을 제공한다. 이러한 태백산분지의 새로운 층서 해석은 향후 남북한 간의 하부 고생대 퇴적층을 대비하는 기준으로 사용될 수 있으며, 인접 남중국 및 북중국, 또는 북미대륙 등 여타 지역과의 광역적 층서대비에 있어 새로운 기준을 제공한다.

REFERENCES

- Aoti, K., 1942, Geology of Bunkei District in Tyosen with special references to the stratigraphy of the Tyosen Group. *Journal of the Geological Society of Japan*, 49, 279-281.
- Cheong, C.H., 1969, Stratigraphy and Paleontology of the Samcheog coalfield, Gangwon-do, Korea (I). *Journal of the Geological Society of Korea*, 5, 13-54.
- Cheong, C.H., Lee, D.S., Um, S.H. and Chang, K.H., 1973, Investigation of Geological Classification of Korea. Ministry of Science and Technology, R-73-51, 68 p (in Korean).
- Choi, D.K. and Chough, S.K., 2005, The Cambrian-Ordovician stratigraphy of the Taebaeksan Basin, Korea: a review. *Geosciences Journal*, 9, 187-214.
- Choi, D.K., Chough, S.K., Kwon, Y.K., Lee, S.B., Woo, J., Kang, I., Lee, H.S., Lee, S.M., Sohn, J.W., Shinn, Y.J. and Lee, D.J., 2004, Taebaek Group (Cambrian-Ordovician) in the Seokgaejae section, Taebaeksan Basin: a refined lower Paleozoic stratigraphy in Korea. *Geosciences Journal*, 8, 125-151.
- Choi, D.K., Kim, D.H., Sohn, J.W. and Lee, S.B., 2003, Trilobite faunal successions across the Cambrian Ordovician boundary intervals in Korea and their correlation with China and Australia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 781-793.
- Choi, D.K. and Park, T.Y., 2017, Recent advances of trilobite research in Korea: Taxonomy, biostratigraphy, paleogeography, and ontogeny and phylogeny. *Geosciences Journal*, 21, 891-911.
- Chung, G.S., Lee, J.G. and Lee, K.S., 2011, Stable Carbon Isotope Stratigraphy of the Cambrian Machari Formation in the Yeongweol Area, Gangweon Province, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 32, 437-452 (in Korean with English abstract).
- Fishier, W.L. and McGowan, J.H., 1967, Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. *Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions*, 17, 213-248.
- Galloway, W.E., 1989, Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: Architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 73, 125-142.
- GICTR (Geological Investigation Corps of Taebaeksan Region), 1962, Geologic atlas of the Taebaeksan region. 11 sheets and 6 plates, Geological Society of Korea (in Korean).
- Goodwin, P.W. and Anderson, E.J., 1985, Punctuated aggradational cycles: A general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. *The Journal of Geology*, 93, 515-533.
- Gottsche, C., 1884, Auffindung Cambrischer Schichten in Korea. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 875-876.
- Han, K.S., 1969, Geology and ore deposits of the Yeonhwa zinc mine. *Journal of the Korea Institute of Mining Geology*, 2, 45-57 (in Korean).
- Hisakoshi, S., 1943, Geology of Seizen District, Kogendo, Tyosen. *Journal of the Geological Society of Japan*, 50, 269-277.
- Hukasawa, T., 1943, Geology of Heisyo district, Kogendo, Tyosen. *Journal of the Geological Society of Japan*, 50, 29-43.
- Inoue, K., 1907, Geology and mineral resources of Korea. *Journal of the Geological Society of Japan*, 19, 523-583 (in Japanese).
- Joo, H. and Ryu, I.C., 2012, Sedimentary facies of the Cambrian Sesong Formation, Taebaeksan basin. *Economic and Environmental Geology*, 45, 565-578 (in Korean with English abstract).
- Jang, H., Son, M.R. and Ryu, I.C., 2019, Carbonate breccias of the Middle Cambrian Daegi Formation, Taebaeksan basin. *Economic and Environmental Geology*, 52, 381-393 (in Korean with English abstract).
- Jang, Y. and Cheong, H.J., 2019, Structural geometry of the Pyeongchang-Jeongseon area of the northwestern Taebaek Zone, Okcheon Belt. *Economic and Environmental Geology*, 52, 541-554 (in Korean with English abstract).
- Kang, I. and Choi, D.K., 2007, Middle Cambrian trilobites and biostratigraphy of the Daegi Formation (Taebaek Group) in the Seokgaejae section, Taebaeksan Basin, Korea. *Geosciences Journal*, 11, 279-296.
- Kim, B.K., 1969, Some new geological aspects revealed from the northwestern part of the Yemi area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 5, 229-241 (in

- Korean).
- Kim, J.Y., 1991, Stratigraphy of the Myeonsan Formation in Samcheog-gun, Kangwon-do and Ponghwagun, Kyongsangbuk-do. *Journal of the Geological Society of Korea*, 27, 225-245 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y. and Cheong, C.H., 1987, The Precambrian-Cambrian boundary in the east of the Dongjeom fault, Gangweon-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 23, 145-158 (in Korean with English abstract).
- Kim, C.S., Choi, S.G., Kim, G.B., Kang, J., Kim, K.B., Kim, H., Lee, J. and Ryu, I.C., 2017, Genetic environments of the high-purity limestone in the upper zone of the Daegi Formation at the Jeongseon-Samcheok area. *Economic and Environmental Geology*, 50, 287-302 (in Korean with English abstract).
- Kim, H., Sim, H., Won, M., Kim, M.J., Lee, J.H. and Song, Y., 2016, Mineralogical characteristics of the Lower Choseon Supergroup in the Weondong area. *Economic and Environmental Geology*, 49, 349-360 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.H., Choi, D.K. and Lee, C.Z., 1991, Trilobite biostratigraphy of the Dumugol Formation (Lower Ordovician) of Dongjeom area, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 7, 106-115.
- Kobayashi, T., 1934, The Cambro-Ordovician formations and faunas of south Chosen. *Palaeontology*, Part 2, Lower Ordovician faunas. *Journal of the Faculty Science, Imperial University of Tokyo*, Section II, 521-585.
- Kobayashi, T., 1935, The Cambro-Ordovician formations and faunas of south Chose. *Palaeontology*, part 3. Cambrian faunas of south Chosen with a special study on the Cambrian trilobite genera and families. *Journal of the Faculty of Sciences, Imperial University of Tokyo*, Section II, 4, 49-344.
- Kobayashi, T., 1960, Cambro-Ordovician formations and faunas of South Korea. Part 6, *Palaeontology V. Journal of the Faculty of Sciences, Imperial University of Tokyo*, Section 2, 12, 217-275.
- Kobayashi, T., 1961, The Cambrian-Ordovician formations and faunas of South Korea. Part 8, *Palaeontology 7*, Cambrian faunas of Munkyung (bunkei) district and Samposan Formation of the Yeongweol (Neietsu) district. *Journal of the Faculty of Sciences, Imperial University of Tokyo*, Section 2, 13, 181-241.
- Kobayashi, T., 1962, The Cambrian-Ordovician formations and faunas of South Korea. Part 9, *Palaeontology 8*, The Machari fauna. *Journal of the Faculty of Sciences, Imperial University of Tokyo*, Section II, 14, 1-152.
- Kobayashi, T., 1966, Stratigraphy of the Chosen Group in Korea and south Manchuria and its relation to the Cambro-Ordovician formations of other areas. Section B. The Chosen Group of north Korea and northeast China. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, sect. 2, 16, 209-311.
- Kobayashi, T., Yoshimura, I., Iwaya, Y. and Hukasawa, T., 1942, The Yukusen Geosyncline in the Chosen period. Brief notes on the geologic history of the Yukosen Orogenic Zone. *Proceedings of the Imperial Academy of Tyoko*, 18, 579-584.
- Kwon, Y.K., 2012, Sequence stratigraphy of the Yeongweal Group (Cambrian-Ordovician), Taebaeksan basin, Korea: Paleogeographic implications. *Economic and Environmental Geology*, 45, 317-333.
- Kwon, Y.K., Chough, S.K., Choi, D.K. and Lee, D.J., 2006, Sequence stratigraphy of the Taebaek Group (Cambrian-Ordovician), mideast Korea. *Sedimentary Geology*, 192, 19-55.
- Lee, B.S., 2018, Recognition and significance of the *Aurilobodus serratus* Conodont Zone (Darriwilian) in lower Paleozoic sequence of the Jeongseon-Pyeongchang area, Korea. *Geosciences Journal*, 22, 683-696.
- Lee, B.S., 2019, Upper Ordovician (Sandbian) conodonts from the Hoedongri Formation of western Jeongseon, Korea. *Geosciences Journal*, 23, 695-705.
- Lee, B.S. and Lee, H.Y., 1988, Upper Cambrian conodonts from the Hwajeol Formation in the southern limb of the Baegunsan Syncline, eastern Yeongweol and Samcheog areas, Kangweon-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 356-375.
- Lee, H.Y., 1977, Conodonten aus den Jigunsan und den Duwibong-Schichten (Mittel Ordovizium) von Kaweondo, Südkorea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 13, 121-150.
- Lee, H.Y., 1980, Discovery of a Silurian conodont fauna from South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 16, 114-123.
- Lee, H.Y., 1982, Conodonts from the Hoedongri Formation (Silurian), western Jeongseon area, Kangwon-do, South Korea. *Journal of National Academy of Sciences Korea, National Sciences Series 21*, 43-131.
- Lee, K.W. and Lee, H.Y., 1990, Conodont biostratigraphy of the upper Choseon Supergroup in Jangsung-Dongjeom area. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 6, 188-210 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.B. and Choi, D.K., 2007, Trilobites of the *Pseudokol-dinioidia* Fauna (Uppermost Cambrian) from the Taebaek Group, Taebaeksan Basin, Korea. *Journal of Paleontology*, 81, 1454-1465.
- Lee, Y.I., 1988, Storm sedimentation in the middle Ordovician Duwibong Formation, southern Taebaek City. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 234-242.

- Lee, Y.I., Choi, T. and Lim, H.S., 2016, Depositional age and petrological characteristics of the Jangsan Formation in the Taebaeksan basin, Korea-revisited. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 67-77 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.I. and Kim, J.C., 1992, Storm-influenced siliciclastic and carbonate ramp deposits, the lower Ordovician Dumugol Formation, South Korea. *Sedimentology*, 39, 951-969.
- Lim, J.N., Chung, G.S., Park, T.Y. and Lee, K.S., 2015, Lithofacies and stable carbon isotope stratigraphy of the Cambrian Sesong Formation in the Taebaeksan Basin, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 36, 617-631 (in Korean with English abstract).
- Mitchum, R.M., 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 1: Glossary of terms used in seismic stratigraphy, in Payton, C.E., ed., *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration: Association of Petroleum Geologists Memoir*, 26, 205-212.
- Nakamura, S., 1926, Stratigraphy and structure of the Proterozoic and Cambrian in the vicinity of Shogen, Korea. *Chikyū*, 6, 400 p (in Japanese).
- No, S.G., Park, M.E., Yoo, B.C. and Lee, S.H., 2020, Genesis of carbonate breccia containing invisible gold in Taebaeksan basi, South Korea. *Minerals*, 10, 1087.
- Om, H.Y., Kim, Y.H. and Ryang, C.C., 1993, Paleozoic Era; in *Geology of Korea*. Foreign Language Book Publication House, Pyongyang, 80-164.
- Paik, I.S., 1985, Evaporite mineral casts in the Maggol Formation, Jangseong, Kangweondo. *Journal of the Geological Society of Korea*, 21, 219-226 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., 1987, Depositional environments of the Middle Ordovician Maggol Formation, southern part of the Baegunsan Syncline area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 23, 360-373 (in Korean with English abstract).
- Park, B.K., Oh, J.K. and Yoon, H.I., 1985, Depositional environments of the Middle Cambrian Sesong Slate Formation, Joseon Supergroup, Korea: an ancient aubmarine fan deposits. *Journal of the Geological Society of Korea*, 21, 241-259 (in Korean with English abstract).
- Park, T.Y. and Choi, D.K., 2011, Trilobite faunal successions across the base of the Furongian Series in the Taebaek Group, Taebaeksan Basin, Korea. *Geobios*, 44, 481-498.
- Plint, A.G. and Nummedal, D., 2000, The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: Hunt, D. and Gawthorpe, R.L. (eds.), *Sedimentary Responses to Forced Regressions*. Geological Society of London, Special Publications, 172, 1-17.
- Reedman, A.J. and Um, S.H., 1975, *The Geology of Korea*. Geological Mining Institute of Korea, 139 p.
- Ryu, I.C., 2003, Integrated stratigraphic approach for new additional limestone reserves in the Paleozoic Taebaeksan basin, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 36, 59-74 (in Korean with English abstract).
- Ryu, I.C., Doh, S.J. and Choi, S.G., 1997, Carbonate breccias of the Lower Ordovician Maggol Limestone: its genetic origin and stratigraphic significance. *Journal of the Geological Society of Korea*, 33, 234-243 (in Korean with English abstract).
- Ryu, I.C. and Oh, C.W., 2013, Sauk II/III sequence boundary in the Sesong and Machari Formations (Upper Cambrian), Taebaeksan basin, Korea. *Annual Conference of the Geological Society of the Korea (Abstracts)*, Jeju, October 23-26, 92 p (in Korean).
- Ryu, I.C., Oh, C.W. and Kim, S.W., 2005, A Middle Ordovician drowning unconformity on the northeastern flank of the Okcheon belt, South Korea. *Godwana Research*, 8, 511-528.
- Ryu, I.C., Ryu, S.Y. and Son, B.K., 2009, Geochemical study of the Jiginsan Shale: A stratigraphic application to defining a Middle Ordovician condensed section, Taebaeksan basin. *Economic and Environmental Geology*, 42, 27-53 (in Korean with English abstract).
- Saltzman, M.R., Cowan, C.A., Runkel, A.C., Runnegar, B., Stewart, M.C. and Palmer, A.R., 2004, The late Cambrian SPICE ($\delta^{13}\text{C}$) event and SAUKII-SAUKIII regression: New evidence from Laurentian basins in Utah, Iowa, and Newfoundland. *Journal of Sedimentary Research*, 74, 366-377.
- Seo, K.S., 2000, Biostratigraphy and conodonts from the Lower Paleozoic sequence in the Singdongueup, Jeongseon area, Kangwondo, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 36, 421-516 (in Korean with English abstract).
- Seo, K.S., Lee, H.Y. and Ethington, R.L., 1994, Early Ordovician conodonts from the Dumugol Formation in the Baegunsan Syncline, eastern Yeongweol and Samcheog areas, Kangweon-do, Korea. *Journal of Paleontology*, 68, 599-616.
- Sim, M.S. and Lee, Y.I., 2006, Sequence stratigraphy of the Middle Cambrian Daegi Formation (Korea), and its bearing on the regional stratigraphic correlation. *Sedimentary Geology*, 191, 151-169.
- Son, C.M. and Cheong, C.H., 1965, Sedimentary environments and geologic structure of the Taebaeksan region. *Journal of Seoul National University Natural Science Series*, 15, 1-27 (in Korean with English abstract).
- Van Wagoner, J.C., 1985, Reservoir facies distribution as

- controlled by sea-level change. SEPM Mid-Year Meeting, Golden, Colorado, 91-92 p.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.H., Campion, K.M. and Rahmanian, V.D., 1990, Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series, 7, 55 p.
- Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and Van Wagoner, J.C., 1988, Sea level changes: An integrated approach. SEPM Special Publications, 42, 407 p.
- Woo, J. and Chough, S.K., 2007, Depositional processes and sequence stratigraphy of the Jigunsan Formation (Middle Ordovician), Taebaek Basin, mid-east Korea: Implications for basin geometry and sequence development. Geoscience Journal, 11, 331-355.
- Woo, J., Shinn, Y.J., Kwon, Y.K. and Chough, S.K., 2006, The Jangsan and Myeonsan formations (Early Cambrian) of the Taebaek Group, mid-east Korea: depositional processes and environments. Geosciences Journal, 10, 35-57.
- Yabe, H., 1919, Report on the anthracite beds in Pyongannam-do in Korea. Bulletin of Geological Survey of Chosen, 1 (in Japanese).
- Yoshimura, I., 1940, Geology of the Neietsu District, Kogendo, Tyosen. Journal of the Geological Society of Japan, 47, 112-122 (in Japanese).
- Yun, H.S., 1983, K-Ar ages of micas from Precambrian and Phanerozoic rocks in the northeastern part of Republic of Korea. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 63, 295-300.
- Yun, S., 1978, Petrology, chemical composition, and depositional environments of the Cambro-Ordovician sedimentary sequences in the Yeonhwa I mine area, southeastern Taebaegsan region, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 14, 145-174.

Received : April 22, 2021
 Revised : May 24, 2021
 Accepted : June 10, 2021